



**Daniel José  
Martins Farinha**

## **Sistemas de Telecontagem e Gestão de Energia em Ambientes Residenciais**

“O segredo da saúde da mente  
e do corpo está em não lamen-  
tar o passado, em não se afli-  
gir com o futuro e em não an-  
teciplar preocupações; está em  
viver sabiamente e seriamente  
o momento presente.”

— Sidarta Gautama







**Daniel José  
Martins Farinha**

**Sistemas de Telecontagem e Gestão de Energia em  
Ambientes Residenciais**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



**o júri / the jury**

presidente / president

**Professor Doutor Robertt Ângelo Fontes Valente**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

**Professor Doutor Carlos B. Carneira**

Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico (arguente)

**Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientador)



## **agradecimentos / acknowledgements**

Tanto esforço, tanto empenho, tanto desespero para chegar à meta. Uma aventura agora completa pelo último ponto final deste documento. Não existe quem progrida solitário, sem problemas. Todos nós temos uma pequena bengala e um conjunto de mãos a dar aquele empurrão na altura certa. Aqueles que adoramos, aqueles de ocasião ou aqueles que trocam conhecimento conosco, todos eles estão presentes e são essenciais.

No topo absoluto da minha lista figura a alma mais gentil que tanto me ajudou ao longo do período de elaboração desta Dissertação: a Davina. No mesmo pé ficam os meus pais que com todo o seu empenho e carinho permitiram a realização dos meus estudos.

Ficam os meu maiores agradecimentos aos colegas que partilharam conhecimento comigo e deram aquela ajuda no momento certo. Um grande abraço para o Luís Vaz, o Luís Santos, o Rui Silva, o Hugo Tavares, o Ricardo Santo António, o David Gameiro, o Ricardo Pascoal e o Jorge Almeida.

Não posso deixar também de mostrar a minha gratidão aos docentes que contribuíram com o seu conhecimento. Um muito obrigado ao meu orientador José Paulo Santos, ao professor Vítor Santos, e ao professor Filipe Teixeira Dias.

Por fim, pretendo agradecer à Mãe-Terra e às minhas sinceras amigas Bolota e Tété, que me ofereceram a sua energia tão humildemente ao longo deste período de tempo.



## Palavras Chave

Telemetria, Telecontagem, Transdutor, Analógico, CS5463, WiFi, SPI, RS232, GSM, Microchip PIC, C, Visual Basic, PHP, HTML5, Javascript, *Canvas*.

## Resumo

O documento que se apresenta, condensa os detalhes acerca de um projecto cuja temática aborda a criação de um protótipo para um sistema de monitorização de consumos eléctricos, o qual oferece ao utilizador a possibilidade de requisitar quantidades de energia através de um SMS e consultar todos os consumos efectuados de Energia Activa e Reactiva através de um navegador de internet. A utilização de padrões da *Web* definiu a possibilidade de visualização dos conteúdos referidos no navegador de quase qualquer telefone inteligente de nova geração. Este tipo de concepção é usualmente denominada de *Sistema de Telecontagem*. Tendo em linha de conta que o sistema deveria ser de baixo custo e com resultados práticos próximos de alguns modelos dispendiosos existentes no mercado, recorreu-se a componentes de baixo custo, elevada funcionalidade e segurança.

Este trabalho é constituído por 6 capítulos principais: Introdução, Estado da Arte, Projecto Desenvolvido, Discussão, Conclusão e Propostas de Trabalhos Futuros. Na Introdução é feita uma abordagem contextual à motivação que levou à elaboração deste trabalho., enquadrando o leitor no tema proposto. No capítulo seguinte são expostos e avaliados alguns produtos/sistemas existentes no mercado e que merecem destaque, fundamentando-se assim o Estado da Arte. No terceiro capítulo, tal como o nome indica, é explicado o trabalho realizado, destacando-se os componentes e procedimentos utilizados. Já na Discussão são criticados todos os pontos definidos nos objectivos expostos no capítulo anterior, enquanto na Conclusão é feita uma crítica completa ao trabalho elaborado, tendo em conta os objectivos definidos e os produtos no mercado. Por fim, são propostos no capítulo sexto alguns temas para elaborar em futuros trabalhos.





**Keywords**

Telemetry, Remote Metering, Transducer, CS5463, Analog, WiFi, SPI, RS232, GSM, Microchip PIC, C, Visual Basic, PHP, HTML5, Javascript, Canvas.

**Abstract**

The following document describes a project focused on the creation of an electrical energy metering prototype. It allows for energy ordering by sending a SMS message. Also active and reactive energy consumption hour based statistics can be accessed on a web page. Web standards were used to create the plots where statistics can be visualized. This way the web page can be opened on a smart phone web browser with the guarantee of correct rendering.

The document is divided in six chapters: introduction, state of the art, project development, conclusion and future projects. In the introduction contextualizes the projects theme and sums up the motivation behind it. In state of the art chapter, some existing systems are exposed and reviewed. On the third chapter all devices and procedures used in this project development are explained. In the fourth chapter the outcome is discussed in detail. In sixth chapter a reflection is made about the whole project. Finally, on the sixth chapter some work propositions are made.



# Conteúdo

<b>Conteúdo</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>v</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Estado da Arte - Telemetria e Telecontagem</b>	<b>3</b>
2.1 Conceito . . . . .	3
2.2 INOV GRID - O projecto português . . . . .	3
2.2.1 O porquê do INOVGRID . . . . .	3
2.2.2 O que é o INOV GRID . . . . .	4
2.2.3 Resumo de Características . . . . .	5
2.2.4 Análise . . . . .	6
2.3 Smart IMS - ADD GRUP . . . . .	6
2.3.1 O que é o Smart IMS . . . . .	6
2.3.2 Resumo de Características . . . . .	7
2.3.3 Análise . . . . .	8
2.4 Elster: REX2-EA . . . . .	8
2.4.1 O que é o REX2-EA . . . . .	8
2.4.2 Resumo de Características . . . . .	9
2.4.3 Análise . . . . .	10
2.5 TED 5000 . . . . .	10
2.5.1 O que é o TED 5000 . . . . .	10
2.5.2 Resumo de Características . . . . .	13
2.5.3 Análise . . . . .	13
<b>3 Projecto Desenvolvido</b>	<b>15</b>
3.1 Objectivos . . . . .	15
3.2 Hardware . . . . .	16
3.2.1 Módulo 1 - Analisador de Energia CS5463 . . . . .	16
3.2.2 Módulo 2 - Interface Analógica . . . . .	22
3.2.3 Módulo 3 - Sistema de leituras . . . . .	31
3.2.4 Módulo 4 - Interface GSM . . . . .	41
3.2.5 Módulo 5 - Triac . . . . .	42
3.2.6 Fonte de Alimentação . . . . .	43

3.3	Software . . . . .	44
3.3.1	Recolha de medições e comunicação com servidor Web . . . . .	44
3.3.2	Comunicação com o dispositivo GSM . . . . .	48
3.3.3	Servidor Web Visual Basic . . . . .	50
3.3.4	Gestor de Base de Dados <i>MySQL</i> . . . . .	51
3.3.5	Página Web para consulta de dados . . . . .	51
4	<b>Discussão</b>	<b>53</b>
5	<b>Conclusão</b>	<b>57</b>
6	<b>Propostas de trabalhos futuros</b>	<b>59</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>61</b>
A	<b>Diagramas</b>	<b>65</b>
B	<b>Circuitos</b>	<b>73</b>

# Lista de Figuras

2.1	Energy Box inerente ao projecto InovGrid.[Wikienergia, 2010]. . . . .	5
2.2	Contador inteligente Smart IMS da ADD GRUP[Bruno Pimenta, 2007]. . . .	8
2.3	Contador inteligente REX2-EA da Elster [Elster, 2009]. . . . .	9
2.4	Princípio de funcionamento do sistema TED 5000 [TED, 2010]. . . . .	11
2.5	Aplicação local do sistema TED 5000[TED, 2010]. . . . .	12
2.6	Wireless Led Display, o dispositivo portátil[TED, 2010]. . . . .	12
2.7	Exemplo da interface do Google Power Meter [Inhabitant, 2010]. . . . .	13
3.1	Esquema da montagem realizada. . . . .	16
3.2	Analísadores de energia considerados. . . . .	17
3.3	Fotografia do Módulo 1. . . . .	21
3.4	Representação gráfica do Efeito de Hall [Wikipedia, 2010]. . . . .	23
3.5	Transdutores LEM utilizados. . . . .	23
3.6	Esquema do LV25-P. . . . .	26
3.7	Circuitos auxiliares. . . . .	26
3.8	Amplificador operacional OPA277P da Burr-Brown . . . . .	27
3.9	Opções de configuração de acordo com a corrente nominal no primário do LTS15-NP [LTS15-NP dtsht, 2010]. . . . .	28
3.10	Esquema do LTS15-NP. . . . .	28
3.11	Esquema de um amplificador diferencial (a)[E.T., 2010] e seu efeito (b). . . .	29
3.12	Foto do Módulo 2. . . . .	30
3.13	Dispositivo XBee Pro da Digi . . . . .	34
3.14	Dispositivo Bluetooth SPBT2532C2.AT da ST Microelectronics . . . . .	35
3.15	Dispositivos WiFi considerados. . . . .	36
3.16	Foto do Módulo 3. . . . .	40
3.17	Foto do Módulo 4 sem o dispositivo GSM WAVECOM. . . . .	41
3.18	Dispositivo GSM, Wavecom Wismo Quik Q2400. . . . .	42
3.19	Montagem do Módulo 5. . . . .	43
3.20	Montagem do Módulo 5. . . . .	43
3.21	Esquema de funcionamento do <i>software</i> . . . . .	44
3.22	Exemplo de troca de mensagens entre os Módulos 1 e 3. . . . .	45
3.23	Diagrama UML de sequência representativo da troca de mensagens entre a aplicação VB e a Wavecom, aquando da configuração inicial. . . . .	49
3.24	Diagrama UML de Sequência referente ao processo de envio de um SMS. Repare-se a ausência de comandos AT no intermédio do processo troca de mensagens entre a aplicação e a Wavecom. . . . .	50

3.25	Uma imagem de ecrã que ilustra a interface do <i>Query Browser</i> . . . . .	51
3.26	Página <i>Web</i> criada, com elementos gráficos <i>Canvas</i> . . . . .	52
4.1	Renderizações da página <i>Web</i> no <i>Safari</i> , em <i>iOS 4.2</i> e no navegador <i>Firefox 3.6</i> , em <i>Windows Vista</i> . . . . .	54
4.2	Funcionamento da página num telefone inteligente. . . . .	55
4.3	Ruído no sinal que segue para o canal de corrente I+ do CS5463. O seu valor anda perto dos 8mV pico. . . . .	56
A.1	Diagrama de Fluxo da aplicação criada para o PIC18F4685 do Módulo 3. . .	67
A.2	Diagrama de Fluxo referente aplicação criada para interacção entre o microcontrolador PIC18F458 e a Wavecom Wismo QUIK Q2400. . . . .	69
A.3	Diagrama UML de sequência relativo à troca de mensagens entre o microcontrolador PIC18F458 e a Wavecom. . . . .	71
B.1	Circuito eléctrico inerente ao Módulo1. . . . .	75
B.2	Circuito representativo do Módulo 2. . . . .	77
B.3	Circuito representativo do Módulo 3. . . . .	79
B.4	Circuito representativo do Módulo 4. . . . .	81
B.5	Circuito representativo do Módulo 5. . . . .	83
B.6	Circuito da fonte de alimentação criada. . . . .	83

# Lista de Tabelas

3.1	Características do MCP3909 da Microchip [MCP3909 dtsht, 2010]. . . . .	17
3.2	Características do CS5463 da Cirrus Logic [CS5463 dtsht, 2010]. . . . .	18
3.3	Parâmetros de configuração do <i>bus</i> SPI utilizados no PIC18F4685. . . . .	21
3.4	Componentes essenciais do Módulo 1. . . . .	21
3.5	Características fundamentais do transdutor de tensão LEM LV25-P. . . . .	24
3.6	Características fundamentais do transdutor de corrente LEM LTS15-NP. . . . .	24
3.7	Componentes essenciais do Módulo 2. . . . .	30
3.8	Características da <i>NanoSocket iWiFi</i> [NanoSocket dtsht, 2010]. . . . .	37
3.9	Características principais do PIC18F4685. . . . .	39
3.10	Componentes essenciais do Módulo 3. . . . .	40
3.11	Componentes essenciais do Módulo 4. . . . .	41
3.12	Componentes essenciais do Módulo 5. . . . .	42
3.13	Parâmetros de configuração do módulo USART do PIC18F4685. . . . .	48





# Capítulo 1

## Introdução

O mundo está em mudança. A realidade energética mundial vê-se subitamente forçada a uma transformação. A economia do petróleo começa a perder a sua força e as fontes energéticas alternativas começam a preencher um cenário cada vez mais realista nos dias que correm [Chris Greenwood *et al.*, 2007]. Em 2006, Al Gore mostrou à liderança global a insustentabilidade das estratégias actuais, chocou a população com a realidade inconsciente em que vive e explicou todos os quandos, comos e porquês, mudando para sempre as mentalidades de quem viu a sua sincera e dura produção cinematográfica: “Uma Verdade Inconveniente”.

Diversos projectos interesse e fundamento ecológico têm sido propostos pelo Governo Português há já algum tempo. Desde a construção de parques eólicos e fotoeléctricos à implementação de estruturas de suporte a veículos eléctricos, como o projecto Mobi-E [APVE, 2010] [Portal-energia, 2010], todos eles revelam que Portugal está no bom caminho. Contudo, o mais interessante no âmbito deste trabalho será o projecto InovGrid, o qual consiste na implementação de uma rede inteligente de telecontadores que permitirão às companhias que fornecem energia eléctrica manter um controlo mais eficiente dos consumos de energia no seio populacional, entre outros benefícios que serão detalhados noutra Secção desta dissertação<sup>1</sup> [Inesporto, 2010].

Se a face política já reage, a população precisa de direcções concretas, de estar informada. São cruciais os incentivos dos governos a vários níveis, tal como é ainda hoje feito no caso da reciclagem de materiais. Também a tecnologia tem um lugar de relevo na vida de cada indivíduo, logo será inteligente aproveitá-la numa direcção ecológica. É incontestável que cada indivíduo tem a sua contribuição a fazer, jamais podendo ficar de fora a ideia de que cada acção individual é somada a tantas outras. Pese embora, a vida acelerada, misturada com um conjunto de prioridades pessoais, levam a que nem sempre tudo seja feito como merece. Fica um exemplo de extrema importância: o controlo de consumo de energia eléctrica. Um indivíduo comum paga a factura de electricidade no fim do mês, reagindo normalmente com perguntas ou expressões que questionam um valor normalmente acima do esperado: “Como é que se gastou tanta energia? Foi de lavar mais roupa lá em casa? Ou foi de passar a semana a ver TV? Será que o frio leva a que se usem demasiado os aquecedores?” Muitas questões diferentes que levam ao mesmo ponto e que se resumem a uma só: Como poupar energia eléctrica dentro de casa?

É neste contexto que surge a necessidade de um contador inteligente, que forneça ao utilizador a informação dos consumos de energia, e que lhe permita consultar tais valores com

---

<sup>1</sup>Consultar a Secção 2.2.

alguma mobilidade, seja através do seu telefone inteligente ou num computador. Tais tópicos vão na direcção do tema deste trabalho: “Sistemas de Telecontagem”.

Existem já alguns contadores remotos (ou Telecontadores) no mercado, normalmente a ser implementados pelas companhias que fornecem energia eléctrica. Nos Estados Unidos da América destaca-se uma sistema em particular, que vai ao encontro dos interesses da população e que segundo comprovam as opiniões recolhidas dos utilizadores [Google, 2010] produz um alargamento na faixa de consciência dos utilizadores, os quais começam de facto a poupar energia, pois sabem o que está a ser consumido diariamente. O sistema em questão é baseado no telecontador TED5000, o qual é detalhado no capítulo seguinte <sup>2</sup>.

Surge, contudo, uma nova questão que permite expandir o panorama em discussão. Existe em Portugal, assim como noutros países Ocidentais (referência), um crescendo significativo de aderência à microgeração. O conceito de microgeração está associado à geração de energia eléctrica em pequena escala, por empresas ou particulares, utilizando fontes renováveis, tais como sistemas fotovoltaicos, turbinas eólicas, mini-hídricas, entre outras [Pedro Frade, 2009]. As vantagens associadas ao processo de microgeração são significativas tanto para o utilizador final como para as companhias típicas de fornecimento de energia eléctrica como a EDP. Perante a utilização de um sistema de microgeração compensada<sup>3</sup> conseguem-se melhorias tanto nos níveis de tensão da rede, como na requisição de energia reactiva, registando-se efectivamente diminuições no factor de potência, ambos elevados benefícios para a companhia fornecedora de energia eléctrica [Pedro Frade, 2009]. Da perspectiva do utilizador final, surgem como pontos positivos uma factura mais reduzida e uma melhoria na qualidade da energia em si. No caso específico da legislatura nacional, a energia produzida da forma anteriormente especificada poderá ser utilizada pelo proprietário da infra-estrutura, sendo que o excedente será devolvido à rede sob efeito de lucro [Decreto-Lei 312/2001][Decreto-Lei 363/2007]. Outro ponto fundamental que indica uma rápida expansão da microgeração é a chegada da rede de mobilidade eléctrica a Portugal. A introdução dos veículos eléctricos acarta consigo um aumento considerável no consumo de energia, o qual poderá introduzir algum desequilíbrio na sustentabilidade do fornecimento de energia, tanto a nível ambiental como económico. É aqui que entra uma vez mais a microgeração, na medida em que ajudará a compensar este fosso energético. Tendo em conta todos estes motivos, a microgeração ocupará certamente um lugar de destaque no futuro.

Neste contexto, uma informação detalhada dos valores de energia associados a consumos será ainda mais relevante, dando ao micro-produtor uma noção exacta das suas poupanças. Mas é possível ir um pouco mais longe, adicionando um elemento de controlo que permita a restrição da quantidade de energia que circula para diversas áreas do espaço particular. As vantagens seriam inegáveis, passando-se de um sistema de monitorização a uma unidade de gestão.

Um projecto desta natureza implica um sistema modular que cruza as vantagens da telecontagem com as da domótica, contribuindo generosamente para o auxílio à poupança de energia eléctrica em ambientes residenciais.

No âmbito deste trabalho académico decidiu-se iniciar uma abordagem a esta problemática, com o objectivo de abrir um novo caminho a futuros trabalhos que foquem na integração completa de um sistema de gestão de energia.

---

<sup>2</sup>Consultar Capítulo 2, TED5000.

<sup>3</sup>Sistemas de microgeração que recorrem a dispositivos que compensam cargas e factor de potência, de forma a melhorar a qualidade da energia antes de esta ser devolvida à rede [Pedro Frade, 2009].

## Capítulo 2

# Estado da Arte - Telemetria e Telecontagem

### 2.1 Conceito

De acordo com a Enciclopédia Britânica [Britannica, 2010], a telemetria é um processo de comunicação automático, através do qual são efectuadas medições ou recolhidos dados em localizações remotas ou inacessíveis e transmitidos/as para um dispositivo receptor monitor. Existe uma grande variedade de sistemas que vão ao encontro desta definição, aplicados em diversas áreas conhecidas como a agricultura, ciência, exploração espacial, forças armadas, entre outras. Em particular, a monitorização de consumos de energia, água ou gás, torna-se bastante interessante para aplicação da telemetria. Companhias fornecedoras destes serviços básicos aperceberam-se das grandes vantagens da automatização dos sistemas de medição, tendo vindo a instalar contadores que enviam os dados recolhidos para um sistema central, onde são processados [Bruno Pimenta, 2007]. Intercepta-se assim o conceito de telecontagem. Segundo “Evaristo Resende” [Evaristo Resende, 2008], a telecontagem “é um caso particular da telemetria”, constituindo a base fundamental de hardware e software para a recolha de dados relevantes, descritivos dos fluxos das grandezas a serem monitorizadas, sejam elas água, gás ou energia eléctrica.

### 2.2 INOV GRID - O projecto português

#### 2.2.1 O porquê do INOVGRID

Até ao ano 2007, no território Português coexistiam duas situações distintas de estado de implantação do sistema de telecontagem. Pode distinguir-se o mercado da Média Tensão, no qual era obrigatória a instalação deste sistema a todos os clientes não vinculados ao mercado regulado (refira-se a importância no apoio à estrutura do mercado liberalizado). São, contudo, tecnologias um pouco limitadas, cujas capacidades não estão exploradas devidamente. Quanto ao mercado de baixa tensão, representado pelo consumidor comum, a situação era mais precária ainda, dada a ausência total de aplicação de Telecontadores e respectivas estruturas de suporte [Bruno Pimenta, 2007].

Um dos motivos que leva a uma pressão na utilização de telecontadores é a recente<sup>1</sup> insti-

---

<sup>1</sup>Aprovado em Assembleia a 4 de Setembro de 2006 [Bruno Pimenta, 2007].

tuição do mercado liberalizado em Baixa Tensão. Estabelece-se um princípio de concorrência e liberdade de tarifas, onde existe um vendedor que garante o fornecimento de electricidade a todos os consumidores, em todas as alturas<sup>2</sup>. Este tipo de mercado obriga de certa forma o consumidor a estar mais atento a tarifários propostos, modos de pagamento, origens da energia fornecida e durações de contrato. A própria ERSE<sup>3</sup> impôs algumas restrições ao comportamento do utilizador final, entre as quais se destaca a aplicada à troca de fornecedor sob qualquer condição. De facto o cliente tem que cumprir certos requisitos para poder fazer a troca que deseja. Podem enumerar-se a sobreposição de pedidos de mudança, existência de casos de fraude ou falta de pagamento, ou até a potência indicada não ser normalizada ou superior à admissível no local de fornecimento de electricidade [Bruno Pimenta, 2007].

De alguma relevância é a necessidade de instalação de equipamentos adequados na casa do cliente, caso tal seja norma do fornecedor. Este último fica responsável pela qualidade técnica do serviço, tendo que seguir algumas normas relacionadas com a qualidade de serviço comercial no regime de mercado livre [Bruno Pimenta, 2007].

Numa análise um pouco mais profunda ao fornecimento eléctrico em Baixa Tensão (B.T.)<sup>4</sup>, podem separar-se dois tarifários distintos de potência fornecida: B.T. Normal e B.T. Especial. O primeiro é o mais comum nas habitações pois contempla um fornecimento de potência inferior a 41,4 kW, valor que define também a passagem para BTE. Basicamente, o que separa ambos os tarifários é a existência de dois parâmetros adicionais na facturação em BTE. Tratam-se da energia reactiva e da variação de preços de potência em horas de ponta. Estes são naturalmente acrescentados a tantos outros comuns a ambas as escolhas fornecimento de potência, entre os quais figuram: preços de contratação, leitura, facturação e cobrança, potência contratada e energia activa [Bruno Pimenta, 2007].

A energia reactiva é desperdiçada na rede, trazendo prejuízo ao fornecedor, daí a necessidade de cobrança para valores mais elevados de potência. Provém de aparelhos que contenham enrolamentos bobina, comuns nas casas actuais. Fornos de Microondas, máquinas de lavar, frigoríficos, entre outros, geram energia reactiva na rede [Bruno Pimenta, 2007].

Como resposta a esta problemática, a EDP, em parceria com Efacec, a Janz/Contar, a Lógica e o INESC Porto criou o projecto INOV GRID [Inescporto, 2010].

## 2.2.2 O que é o INOV GRID

Trata-se de uma infra-estrutura completa de Gestão inteligente e telecontagem de energia composta por contadores inteligentes colocados nas residências (*Energy Boxes* ou EB), controladores autónomos nos postos de transformação (DTC ou *Distribution Transformer Controller*) e sistemas de gestão de informação nas sub-estações. Todo este conjunto permitirá à companhia fornecedora de energia melhorar significativamente a sua gestão técnica e comercial através da introdução de serviços avançados, integração do contributo da micro-geração, entre outros factores [Gomes *et al.*, 2009].

---

<sup>2</sup>A EDP garante o fornecimento de energia eléctrica em todo o território português.

<sup>3</sup>ERSE Entidade Reguladora do Sector Eléctrico.

<sup>4</sup>Baixa Tensão é considerada para valores inferiores a 1kV

## 2.2.3 Resumo de Características

### 2.2.3.1 Energy Boxes

- Suporte à gestão e controlo da microgeração;
- Suporte a múltiplos protocolos de comunicação;
- Realizam gestão e controlo das cargas locais;
- Permitem troca entre cliente e fornecedor incluindo a informação detalhada;
- Implementam os serviços de contagem e contratuais;
- Contêm um interruptor interno que pode ser activado local ou remotamente através da rede, permitindo o controlo do fornecimento de energia;
- Actualização remota do firmware e dos valores das tarifas sem danificar os dados registados pelo aparelho;
- Detecção de furtos de energia ou violação do contador.

[Gomes *et al.*, 2009]



Figura 2.1: Energy Box inerente ao projecto InovGrid.[Wikienergia, 2010].

### 2.2.3.2 Distribution Transformer Controller (DTC)

- Fica localizado no posto de transformação;
- Comunica e gere as *Energy Boxes* existentes na rede de Baixa Tensão da subestação;
- Opera como um dispositivo inteligente de controlo e automação do posto de transformação;
- Detecção de defeitos e controlo da Iluminação Pública;
- Controlo, gestão avançada da geração distribuída;
- Efectua balanço energético;
- Monitorização da sobrecarga do transformador;
- Análise da qualidade de energia;
- Detecção e notificação de falhas de energia.

[Gomes *et al.*, 2009]

### 2.2.4 Análise

Pese embora que o sistema detenha um leque elevado de funcionalidade, interessa fundamentalmente analisar o que afectará directamente o utilizador final da energia. Se a companhia o desejar, poderá efectivamente disponibilizar ao consumidor as estatísticas referentes aos consumos de energia, em base horária, diária, mensal, etc. Contudo, não foi ainda confirmada esta intensão, o que leva a concluir que directamente, o consumidor não vai beneficiar muito com este sistema, no que à gestão da energia no seu espaço particular diz respeito. Por outras palavras, seria relevante que o utilizador final tivesse acesso aos seus consumos pelo menos em base horária, de forma a poder racionar com maior eficiência a sua energia, tal como descrito no Capítulo 1 desta dissertação.

## 2.3 Smart IMS - ADD GRUP

Fabricado pelo ADD GRUP, o Smart IMS realiza de forma exímia as tarefas exigida por uma companhia fornecedora de energia eléctrica. Facilmente integrável em redes inteligentes, surge como um exemplo muito válido de um sistema de telecontagem.

### 2.3.1 O que é o Smart IMS

Trata-se de um sistema sofisticado e completamente autónomo destinado a efectuar contagens com ligação remota (telecontagem), adaptado a múltiplos tipos de medição de recursos, tais como água, gás, calor, electricidade, entre outras aplicações específicas. É constituído por elementos de *hardware* que vão desde contadores a um conjunto completo de aparelhos que dão consistência a um processo de comunicação de dados processados por *software* centralizado. Bastante promissor, pode eventualmente despertar o interesse a companhias de distribuição, serviços municipais empresas ou até grupos de consumidores [ADD GRUP, 2008].

Perfeitamente escalável, pode ser adaptado a uma grande diversidade de circunstâncias e necessidades. A vantagem da sua aplicação reside também no facto de utilizar protocolos padrão tanto no *hardware* como no *software*, o que facilita em grande medida a integração com sistemas externos [ADD GRUP, 2008].

### 2.3.1.1 Níveis de Escalabilidade

Três níveis distintos de escalabilidade compõem o Smart IMS.

No **nível baixo** apenas são considerados os equipamentos próximos do objectivo, a medição. Neste grupo encontram-se os diversos tipos de contadores e controladores que podem ser *Addax*<sup>5</sup> ou provenientes de outros fabricantes [ADD GRUP, 2008].

No **nível intermédio** entram todos os dispositivos *Addax.Net*, que tratam das ligações de rede e da transmissão de dados, explorando várias tecnologias actuais para atingir o fim. Entre estas figuram *GSM/GPRS*, *Ethernet*, *Powerline (MV&LV)*, RF, Cabo, entre outras [ADD GRUP, 2008].

A **alto nível** figuram os elementos de recolha e processamento de dados, nomeadamente *routers* e *software*. Quanto a este último, mais especificamente:

- Sistema Operativo: MS Windows 2000 SP4 / Xp SP2 / 2003 Server SP1;
- Servidor de Base de Dados: MS SQL Server 2005 Express Edition;
- Pós-tratamento de dados: MS Office 2000/2003;
- ADDAX (Smart IMS) Application Soft.

[ADD GRUP, 2008]

### 2.3.2 Resumo de Características

- Suporte a múltiplos protocolos de comunicação;
- Compatibilidade com dispositivos externos, com vista a adaptação á medição de outros elementos, tais como água ou gás;
- Suporte para múltiplos tarifários de acordo com o período de tempo desejado;
- Fornecimento da dados armazenados a pedido do utilizador, referentes a energia, procura, estado e instrumentação;
- Contém um interruptor interno que pode ser activado local ou remotamente através da rede, permitindo o controlo do fornecimento de energia;
- Actualização remota do *firmware* e dos valores das tarifas sem danificar os dados registados pelo aparelho;
- Detecção de furtos de energia ou violação do contador.

[ADD GRUP, 2008]

---

<sup>5</sup>Addax Devices – Fabricante do hardware vendido pela ADD GRUP.



Figura 2.2: Contador inteligente Smart IMS da ADD GRUP[Bruno Pimenta, 2007].

### 2.3.3 Análise

O sistema Smart IMS além de repleto de funcionalidades, apresenta um pacote de *software* que recolhe as contagens e permite o seu tratamento estatístico. Possui ainda gestão de energia de acordo com um tarifário que pode ser alterado remotamente. Possibilita a exportação de dados em formato *Excel*<sup>6</sup> e a integração em redes, graças à interface de comunicação versátil, aberto à adaptação de diversos protocolos, bastando escolher o módulo desejado para ligar ao dispositivo. Apresenta-se, contudo, direccionado à substituição dos contadores mecânicos, resumindo-se a uma iteração destes últimos e, assim, permitindo às companhias controlo e informação outrora inacessíveis.

## 2.4 Elster: REX2-EA

O fabricante norte americano *Elster* é especializado em sistemas de medição de consumos de energia eléctrica. Apresenta uma gama diversificada que vai desde contadores electro-mecânicos relativamente simples, a contadores remotos, com capacidade de comunicar para o exterior através de vários protocolos [Elster, 2009].

### 2.4.1 O que é o REX2-EA

O *REX2-EA* é um dispositivo medidor de consumos de energia eléctrica, com funcionalidades avançadas. Além de realizar a normal avaliação dos gastos de energia, por exemplo

<sup>6</sup>Abreviatura associada ao formato de ficheiro do software Microsoft Excel.



numa habitação, acrescenta a capacidade de comunicação bidireccional com dispositivos externos através de rádio-frequência, em particular, *Zigbee* a 900MHz e 2.4GHz. Esta mais valia permite a sua integração em redes inteligentes, assim como a actualização do software ou dos valores de tarifas armazenados no próprio contador. A Figura 2.3 mostra o dispositivo em discussão [Elster, 2009].



Figura 2.3: Contador inteligente REX2-EA da Elster [Elster, 2009].

#### 2.4.2 Resumo de Características

- Comunicação por radio-frequência avançada baseada em *Zigbee*;
- Fornecimento da dados armazenados a pedido do utilizador, referentes a energia, procura, estado e instrumentação;
- Duas bases distintas e configuráveis de medição, permitindo criar um sistema bidireccional ou ajustado a cogeração;
- Três níveis de demanda, com possibilidade de limitação e *reset* operados remotamente;
- Suporte para múltiplos tarifários de acordo com o período de tempo desejado, existindo 16 possibilidades;
- Compatibilidade com dispositivos externos, com vista a adaptação á medição de outros elementos, tais como água ou gás;
- Detecção de furtos de energia ou violação do contador;
- Níveis de informação completos, associados a códigos de erro, transmitidos através da rede;

- Possibilidade de melhoria e adição de funcionalidades;
- Encriptação de 128 *bit* garante segurança na rede;
- Suporte aos padrões de medição e redes de comunicação, respectivamente ANSI C12.19 e C12.22;
- Memória não volátil com durabilidade vitalícia em relação ao aparelho, de aproximadamente 1.000.000 de ciclos de escrita;
- Contém um interruptor interno que pode ser activado local ou remotamente através da rede, permitindo o controlo do fornecimento de energia;
- Actualização remota do *firmware* e dos valores das tarifas sem danificar os dados registados pelo aparelho;
- Gestão eficaz das quebras de fornecimento de energia, através de registos completos das ocorrências e alertas.

[Elster, 2009]

### 2.4.3 Análise

Após uma revisão às características do dispositivo, torna-se claro que o modelo *REX2-EA* está carregado de funcionalidade, destacando-se essencialmente por desempenhar funções de terminal e *gateway* numa habitação. O facto de disponibilizar todas as medições através de *Zigbee*, um protocolo de comunicação comprovado e de baixo consumo, torna-o num produto versátil e fácil de implementar numa rede local dedicada. Contra si joga o facto de não trazer à partida qualquer tipo de software que recolha externamente os dados do aparelho para os centralizar numa interface de utilizador ou numa página *Web*, tratando-se apenas de *hardware* pronto a funcionar. Outro ponto negativo é a necessidade de implementação de uma infra-estrutura dedicada ao envio de dados para um servidor remoto, ou seja, caso se pretendesse usufruir deste modelo para elaborar o projecto descrito neste documento, existiria a necessidade de reencaminhar a informação que chega através de rádio-frequência, localmente, para a rede de internet, dado que o protocolo *Zigbee* não permite usufruir das infra-estruturas comuns das habitações, como os *routers* com e sem fios.

## 2.5 TED 5000

### 2.5.1 O que é o TED 5000

Segundo o fabricante, o TED 5000 é um sistema de *feedback* de consumos que promove a conservação de energia, fazendo os consumidores tomar conhecimento da quantidade a ser consumida nas suas casas. No fundo, trata-se de um sistema de telecontagem composto por três dispositivos distintos: o Sensor, o *Gateway* e o *Wireless Led Display*. O primeiro detecta a passagem de corrente nas linhas através do efeito de Hall, calcula os consumos e envia-os através da linha <sup>7</sup> para um *Gateway*, sendo que este disponibiliza os dados para um servidor remoto através de uma ligação à *Web* via *ethernet*, ou directamente para o

---

<sup>7</sup>Comunicação efectuada através de PLC (*Power Line Communication*).

*Wireless Led Display* através de uma ligação sem fios *ZigBee*. No fundo a informação chega ao utilizador em três pontos distintos: numa aplicação local, num pequeno dispositivo portátil com alcance limitado e na aplicação *online* do *Google Power Meter* [TED, 2010]. Na Figura 2.4 é esquematizado o sistema e a sua forma de funcionamento.

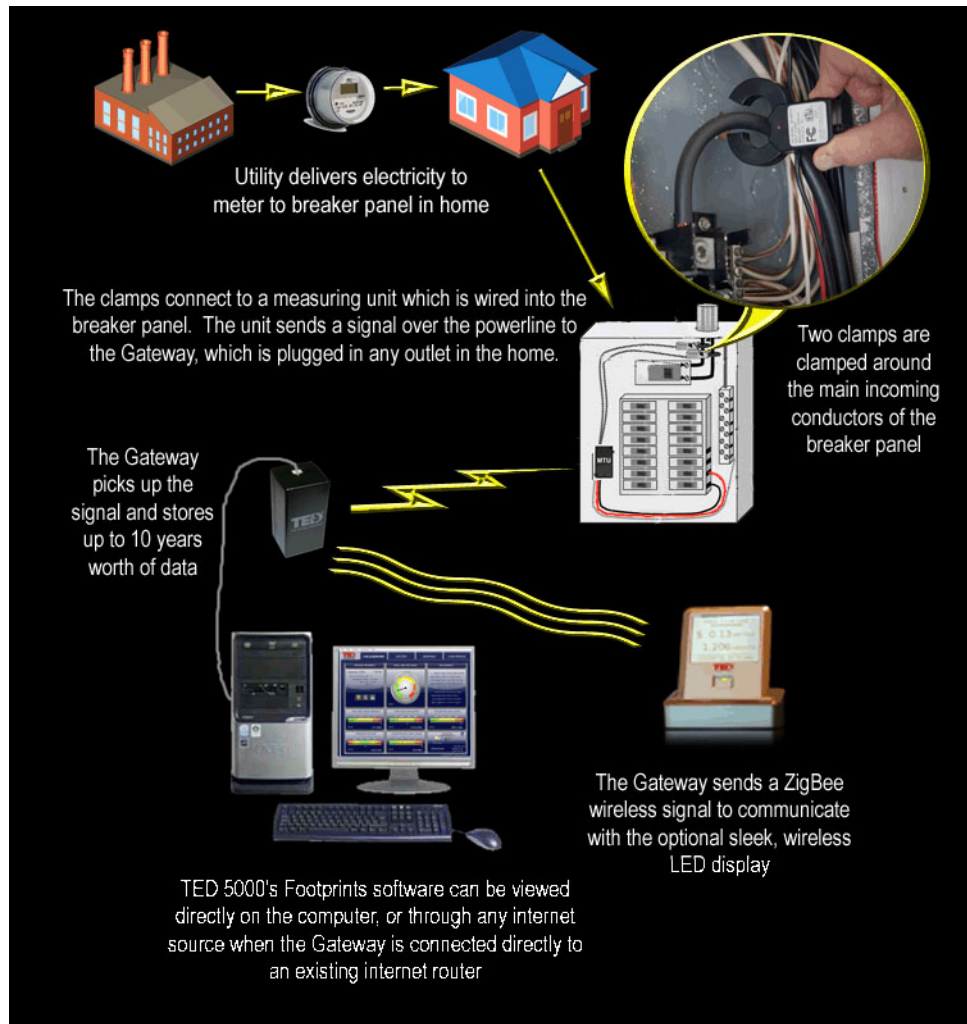


Figura 2.4: Princípio de funcionamento do sistema TED 5000 [TED, 2010].

#### 2.5.1.1 Aplicação local

Os *Gateway* do TED 5000 vêm preparados para enviar os dados para um servidor remoto que está à escuta dos pedidos de uma aplicação que o utilizador instala no seu computador. Esta mostra ao utilizador uma interface agradável e informativa que exhibe além dos consumos instantâneos, os históricos e acumulados. Apresenta também informação relativa ao tráfego de dados utilizado pelo dispositivo principal, entre outras menos relevantes. A Figura 2.5 ilustra a aplicação referida [TED, 2010].

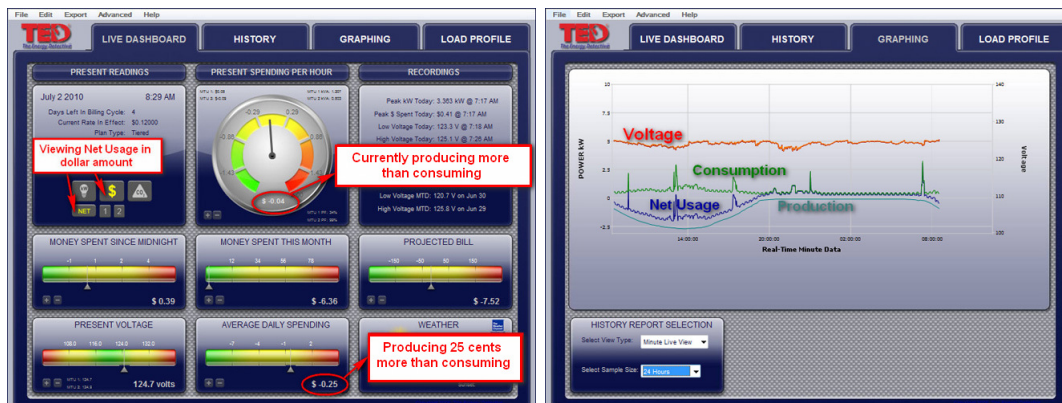


Figura 2.5: Aplicação local do sistema TED 5000[TED, 2010].

### 2.5.1.2 Wireless Led Display - o dispositivo portátil

A acompanhar o equipamento principal vem um pequeno dispositivo cuja função é disponibilizar alguma informação acerca dos consumos instantâneos e estimativas de poupança com cálculo de custo. A recolha de dados é feita directamente do *Gateway* através de uma ligação sem fios *ZigBee*. A Figura 2.6 ilustra o dispositivo referido [TED, 2010].



Figura 2.6: Wireless Led Display, o dispositivo portátil[TED, 2010].

### 2.5.1.3 Google Power Meter

A Google disponibiliza um serviço gratuito que permite a cada indivíduo aceder às estatísticas de consumos na sua área particular sob a forma de um *widget* gráfico, ou seja, uma mini aplicação colocada numa página *Web* associada à sua conta Google, o iGoogle. Este

serviço efectua a recolha de dados directamente do *Gateway* do TED, através da *internet*, graças a uma camada de *software* fornecida pela Google ao fabricante que transforma o *Gateway* num cliente dos serviços do gigante das buscas. A Figura 2.7 ilustra a mini aplicação referida.



Figura 2.7: Exemplo da interface do Google Power Meter [Inhabitant, 2010].

## 2.5.2 Resumo de Características

- As medições do dispositivo são de fácil consulta, pois o *software* é criado em torno das tecnologias *Web*. O exemplo mais concreto é o *Google Power Meter*;
- Possui uma unidade sem fios que apresenta as medições do dispositivo;
- O dispositivo tem memória não volátil com capacidade para armazenar contagens de 10 anos;
- Sensores com resolução de 1 *Watt*;
- O seu *software* permite exportação dos dados.

[TED, 2010]

## 2.5.3 Análise

O TED 5000 apresenta-se como um sistema muito completo, virado para o consumidor. As suas vantagens residem na variedade de formas em que a informação é disponibilizada, assim como no facto de ser um sistema pronto a funcionar, com *software* já incluído. Carece contudo de qualquer tipo de sub-sistema de accionamento/gestão, resumindo-se a trabalhar as medições recolhidas.



## Capítulo 3

# Projecto Desenvolvido

No capítulo anterior foram analisados diversos dispositivos existentes no mercado, todos com diferentes características técnicas e aplicações. Neste capítulo será abordado o desenvolvimento do projecto desta dissertação. No que ao *hardware* diz respeito, serão demonstrados diversos módulos e seus componentes e justificadas todas as escolhas perante alternativas viáveis. Na Secção referente ao *software* serão especificadas as aplicações criadas, acompanhadas dos diagramas UML e justificadas as linguagens de programação utilizadas. Contudo, antes de entrar em detalhe, há que esclarecer onde se pretende chegar com este trabalho.

### 3.1 Objectivos

Neste trabalho de dissertação pretende-se criar um sistema de telecontagem de energia eléctrica que reúna todas as suas medições numa base de dados *online* e permita a sua consulta numa página *Web*, quer seja realizada através de um computador ou de um telefone inteligente. O sistema deverá permitir também a requisição de pacotes de energia através de SMS. A informação da encomenda poderá ser consultada também através de um *browser* onde o utilizador sabe quanto lhe resta para consumir.

Um requisito fundamental deste sistema é ser modular, ou seja, dividido em diversos elementos independentes e funcionais, que possam ser conjugados com outros trabalhos realizados futuramente. Não faz parte dos objectivos a criação de um produto para comercialização imediata, mas sim de elemento protótipo já funcional que poderá vir a fazer parte de um sistema mais complexo no futuro ou a realizar diferentes tarefas consoante a necessidade.

#### 3.1.0.1 Requisitos fundamentais

- Criar um sistema de telecontagem com comunicação sem fios;
- Consulta de contagens em base horária numa página *Web*;
- Exposição da Energia Activa e Reactiva;
- Encomenda de pacotes de energia através de SMS, com consulta em página *Web*;
- A interface *Web* deve poder ser consultada em qualquer browser actual, seja de telefone inteligente ou computador;
- O sistema deve ser versátil, modular e simples de melhorar.

## 3.2 Hardware

O projecto de *hardware* foi dividido em cinco módulos, montados em placas brancas de prototipagem. Cada um tem a sua função, sendo que podem facilmente ser substituídos por outros caso se pretenda obter um sistema com diferentes aplicações. Esta é a grande vantagem de um sistema modular. A Figura 3.1 esquematiza a montagem.

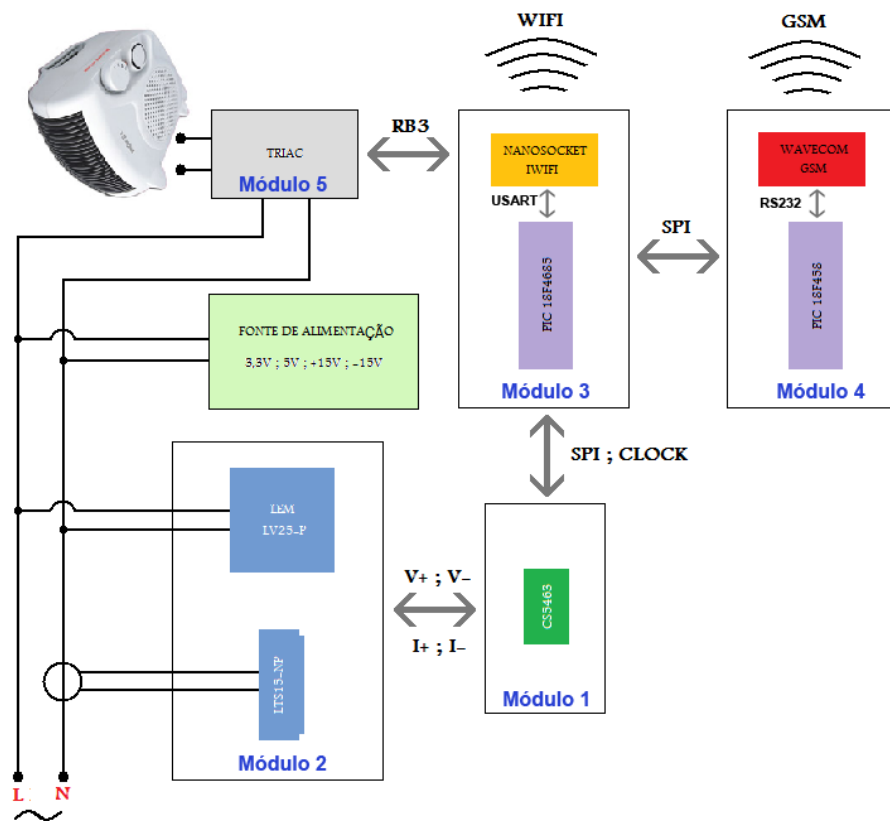


Figura 3.1: Esquema da montagem realizada.

### 3.2.1 Módulo 1 - Analisador de Energia CS5463

De forma a conseguir valores de energia relativos aos consumos de um dispositivo electrónico qualquer (como um electrodoméstico), é necessário um elemento de circuito intermédio que consiga interpretar variações de tensão e corrente na linha que alimenta o dispositivo, transformando-as em valores de potência prontos a serem lidos por um dispositivo externo, por norma, um microcontrolador. Para facilitar a leitura neste texto, referem-se estes circuitos integrados como analisadores de energia.



### 3.2.1.1 Escolha do dispositivo

Existem no mercado diversos circuitos integrados que realizam esta tarefa e pelos quais seria possível optar. Um deles é o MCP3909 da Microchip (Figura 3.2(a)). Sendo um circuito integrado(IC) de arquitectura muito simples, apenas devolve pulsos correspondentes a valores de energia activa ou permite a leitura de uma sinusóide que traduz a potência activa. Dado estar limitado às medições activas não foi seleccionado. As características principais são descritas na Tabela 3.1 [MCP3909 dtsht, 2010].

#### Características do MCP3909

- Fornece medições de potência activa em instalações monofásicas;
- Está de acordo com as especificações IEC 62053, 1036/61 e 036/687;
- Possui dois conversores Analógico-Digital Delta Sigma de 16 bit;
- Boa imunidade ao ruído;
- Envia pulsos de Energia Activa;
- Interface de comunicação SPI<sup>TM</sup> para aceder ao sinal não tratado;

Tabela 3.1: Características do MCP3909 da Microchip [MCP3909 dtsht, 2010].

Consideraram-se também dois produtos distintos da Cirrus Logic: O CS5460 (Figura 3.2(b)) e o CS5463 (Figura 3.2(c)). Embora sejam semelhantes a nível de arquitectura e funcionamento, apenas o segundo devolve o conjunto de valores que representam a componente reactiva da energia. Posto este factor, o modelo CS5463 da CIRRUS Logic foi seleccionado pelo seu conjunto alargado de funcionalidades de cálculo além da sua relação preço/desempenho favorável. A Tabela 3.2 apresenta as características do modelo escolhido.

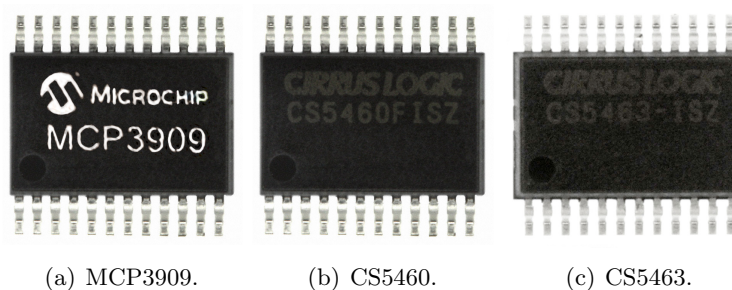


Figura 3.2: Analisadores de energia considerados.

### Características do CS5463

- Aplicável em instalações monofásicas;
- Fornece medições de potência activa e reactiva e factor de potência;
- Fornece medições de potência harmónica e fundamental;
- Fornece medições de tensão e corrente eficaz;
- Fornece medições instantâneas de tensão, corrente e potência;
- Tem sensor de temperatura interno;
- Tem referência de 2,5V;
- Compensação de fase;
- Sistema de calibração AC e DC;
- Baixo Consumo de energia;
- Está de acordo com as especificações IEC, ANSI e JIS;
- Possui dois conversores Analógico-Digital Delta Sigma de 16 bit;
- Envia pulsos de Energia Activa e Reactiva;
- Interface de comunicação SPI para aceder aos registos internos;

Tabela 3.2: Características do CS5463 da Cirrus Logic [CS5463 dtsht, 2010].

#### 3.2.1.2 O CS5463: o essencial

Este modelo tem a capacidade de calcular além de medições instantâneas de tensão e corrente e potência, a cada segundo<sup>1</sup> os valores eficazes ( $V_{RMS}$  e  $I_{RMS}$ ), potência activa e reactiva e factor de potência, entre outros menos relevantes. Estas características fazem deste modelo a escolha ideal para integração num sistema cujo objectivo principal é fornecer informação detalhada acerca de consumos de energia eléctrica.

Este componente necessita de dois valores de tensão nos seus canais de entrada os quais serão fornecidos pela interface analógica (Módulo 2). Com dois níveis de tensão distintos, um constante (referente ao canal de tensão  $V+$ ) e outro variável (referente ao canal de corrente  $I+$ ), o CS5463 realiza internamente todos os cálculos necessários e armazena os valores respectivos em registos internos, prontos para serem lidos pelo microcontrolador (no Módulo 3) a partir da porta série síncrona disponibilizada, utilizando o protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*) [CS5463 dtsht, 2010].

#### 3.2.1.3 Detalhes de funcionamento

O dispositivo integrado funciona com base num conversor de analógico para digital que prepara os sinais eléctricos para processamento num sistema de computação baseado em lógica de hardware. São requeridos dois sinais de entrada, no fundo dois diferenciais de tensão distribuídos por quatro entradas:  $V+$ ,  $V-$ ,  $I+$  e  $I-$ .

Entre  $V+$  e  $V-$ , que consistem o canal de tensão, dá entrada um sinal eléctrico analógico

<sup>1</sup>Com configuração após *reset* e cristal de 4 MHz.

proveniente, no caso deste trabalho, do transdutor de tensão do Módulo 2 (Secção 3.2.2). Da mesma forma I+ e I- representam as entradas do canal de corrente do CS5463. Os sinais analógicos provêm neste caso do transdutor de corrente do mesmo módulo. Estes irão providenciar a informação analógica necessária ao sistema de computação [CS5463 dtsht, 2010].

### 3.2.1.4 Sistema de Cálculo

Internamente o CS5463 faz uma distinção entre grandezas instantâneas e grandezas de cálculo. As primeiras representam amostras recolhidas dos sinais de entradas anteriormente referidas, a uma cadência de MCLK/1024, o *Output word rate* (OWR) do dispositivo. As mais relevantes são as de corrente e tensão instantâneas, as quais são usadas para computar além da potência instantânea, grande parte das grandezas de cálculo. Estas últimas são calculadas usando N amostras instantâneas. Dependendo da grandeza a calcular, os parâmetros instantâneos usados podem ser diferentes.

Nos próximos parágrafos são explicados estes pormenores mais ao detalhe assim como os processos de cálculo das profundezas mais relevantes do trabalho de dissertação aqui apresentado. Para informação detalhada acerca das restantes grandezas aconselha-se a consulta do manual do dispositivo ([CS5463 dtsht, 2010]).

Entre as grandezas mais relevantes das medições figuram a tensão e corrente eficazes, respectivamente  $V_{RMS}$  e  $I_{RMS}$ . Para efectuar o cálculo de um resultado, o dispositivo baseia-se em 4000 amostras instantâneas de tensão e corrente, disponibilizando um novo valor a cada segundo. A relação em que se baseia é a seguinte:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} I_n^2}{N}} \quad (3.1)$$

, em que  $I_n$  é uma amostra instantânea de corrente e N corresponde ao número de ciclos, ou seja, ao número de amostras que o dispositivo recolhe para efectuar um cálculo de IRMS.

Basicamente, o valor de N pode ser definido pelo utilizador, caso se pretenda modificar a precisão de cálculo dos valores. A título de exemplo, caso seja necessário aumentar a fidelidade do valor de IRMS, pode alterar-se o valor de N de 4000 para 8000, tendo como consequência o dobro do intervalo de espera até que estejam terminados. Este intervalo, chamado de ciclo de computação, pode ser determinado a partir da seguinte relação:

$$C_c = \frac{OWR}{N} = \frac{MCLK}{1024 \times N} \quad (3.2)$$

, em que  $C_c$  corresponde à frequência de um ciclo de computação, MCLK é a frequência do oscilador escolhido para o dispositivo e N o número de amostras instantâneas.

Por defeito o dispositivo tem um  $C_c$  de 1Hz, pois usando um cristal de 4,096MHz:

$$C_c = \frac{4,096 \times 10^6}{1024 \times 4000} \approx 1Hz \quad (3.3)$$

Logo,

$$T_{cc} = \frac{1}{C_c} = 1s \quad (3.4)$$

, em que  $T_{cc}$  representa o intervalo de tempo de espera até que o dispositivo tenha as contas prontas. O valor obtido indica que o dispositivo demora um segundo a realizar e disponibilizar os cálculos.

Uma relação semelhante aplica-se ao cálculo da Tensão Eficaz ( $V_{RMS}$ ) e da Potência activa (P):

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} V_n^2}{N}} \quad (3.5)$$

e

$$P = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (V_n \times I_n)}{N} \quad (3.6)$$

Já para o valor da Potência aparente (S) é obtido através de:

$$S = V_{RMS} \times I_{RMS} \quad (3.7)$$

O factor de potência (PF) vem de:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3.8)$$

Por fim, a potência reactiva (Q) provém da relação trigonométrica:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.9)$$

[CS5463 dtsht, 2010]

### 3.2.1.5 Sistema de Registo

O dispositivo detém uma tabela de registos onde guarda todas as suas configurações e medições efectuadas. Alguns permitem a modificação do seu conteúdo, assim como a sua leitura, ao passo que outros apenas podem ser consultados. Os registos estão divididos por três páginas de memória, todas acessíveis também a partir do exterior.

Aceder aos registos, quer seja para o configurar ou para extrair medições efectuadas, requer uma interface de comunicação. Para o propósito desta dissertação utilizou-se a porta de série síncrona disponibilizada no CS5463. A configuração do processo de comunicação baseia-se no modo **SPI(0,0)**, o que no microcontrolador utilizado se traduz nos parâmetros apresentados na Tabela 3.3.

[CS5463 dtsht, 2010]

Bit de configuração	Valor Lógico
<i>CKP</i>	0
<i>CKE</i>	1

Tabela 3.3: Parâmetros de configuração do *bus* SPI utilizados no PIC18F4685.

### 3.2.1.6 Planeamento do Circuito

O circuito inerente ao Módulo 1 permite o funcionamento do CS5463. A lista de componentes é representada na Tabela 3.4. As Figuras B.1 e 3.3 ilustram o circuito referido e o Módulo em si, respectivamente.

Componente	Quantidade	Função
CS5463	1	Circuito integrado analisador de energia.
Cristal 4MHz	1	Relógio essencial ao funcionamento do CS5463.
Led 3mm	3	Para vizualização dos pulsos emitidos pelo CS5463.
Resistência 1k	3	Limitam a corrente que passa nos Leds.
Resistência 10kΩ	3	Pull up/down.
Bobina 100mH	2	Filtram algum ruído da linha.
Condensador 1uF	2	Estabilizam os sinais de alimentação.
Zéner 4,7V	2	Impedem os sobretensão nos canais do CS5463.

Tabela 3.4: Componentes essenciais do Módulo 1.

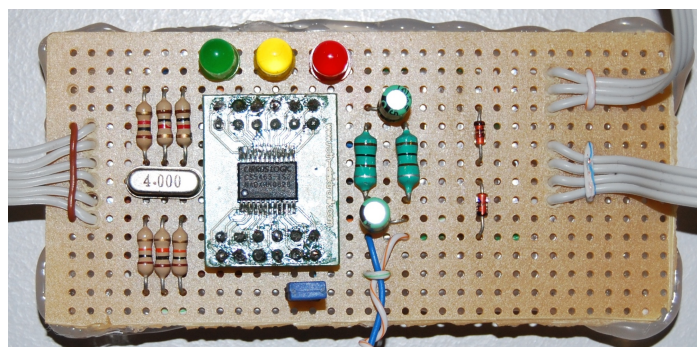


Figura 3.3: Fotografia do Módulo 1.

### 3.2.2 Módulo 2 - Interface Analógica

O CS5463 presente no Módulo 1, necessita de um circuito auxiliar que detecte os valores de tensão e corrente que passam na linha, transformando-os em valores de tensão possíveis de serem injectados nos seus canais de corrente e tensão e interpretados por si. Estudaram-se três hipóteses de realizar esta interface analógica.

A hipótese mais económica consiste na utilização de um divisor resistivo para o canal de tensão e de uma resistência de baixa capacidade e elevada potência em série com a linha principal. Enquanto o divisor resistivo se limita a baixar tensão, a resistência de *shunt* detecta as variações de corrente na linha, transformando-as em variações de tensão a fornecer ao canal de corrente do CS5463. Esta tecnologia tem a vantagem de não introduzir variações de fase mas o sistema quase na sua totalidade (Módulos 1+2+3) não ficaria isolado dos níveis de tensão da linha.

A segunda técnica possível implica o uso de transformadores, mais propriamente um transformador de tensão e um de corrente, respectivamente no lugar do divisor resistivo e da resistência de *shunt*. A vantagem desta técnica seria a obtenção de um sistema isolado das altas tensões que ocorrem na linha tendo como desvantagem um custo mais elevado que a técnica das resistências, além de introduzir discrepâncias de fase que iriam prejudicar as medições feitas pelo CS5463.

Analizadas estas duas técnicas considerou-se uma terceira. Esta consiste no uso de transdutores, mais propriamente um transdutor de corrente e um de tensão. Ambos funcionam com base no princípio do Efeito de *Hall*. Este simples facto faz com que se obtenha um sistema completamente isolado das altas tensões da linha, sem o risco indução de fase. Dado este conjunto de características foi esta a técnica usada. Pelas suas designações é possível entender que ficam ligados respectivamente ao canal de corrente e tensão do CS5463, embora não directamente (ver esquema eléctrico - Figura B.2).

#### 3.2.2.1 Transdutores e Efeito de Hall

Os transdutores funcionam com base no princípio do Efeito de Hall. Na prática, a passagem de corrente num condutor induz um campo magnético que é captado por um anel metálico posicionado em seu redor. Este mesmo anel apresenta uma interrupção em forma de fenda, na qual é evidente a passagem do campo magnético induzido pelo condutor. Nesta mesma fenda é então colocada uma barra de Hall, que fica sujeita ao efeito do campo referido (Figura 3.4). Como resultado, as suas cargas positivas e negativas posicionam-se em extremidades opostas, criando verticalmente uma diferença de potencial [Britannica, 2010].

É através deste processo simples que o transdutor de corrente (LTS15-NP) consegue transformar uma corrente numa diferença de potencial mensurável. A grande vantagem do Efeito de Hall é a não introdução do desfasamento típico da indução de uma bobina [Francisco Travassos, 2008].

#### 3.2.2.2 Escolha do Dispositivo

A escolha dos transdutores foi realizada com base nas suas características, e vantagens, como descrito acima. Foram seleccionados os modelos LV25-P e LTS15-NP da LEM, respectivamente um transdutor de tensão e um transdutor de corrente. Na Figura 3.5 são ilustrados os dispositivos referidos. Nas tabelas 3.5 e 3.6 são ilustradas as suas características fundamentais.

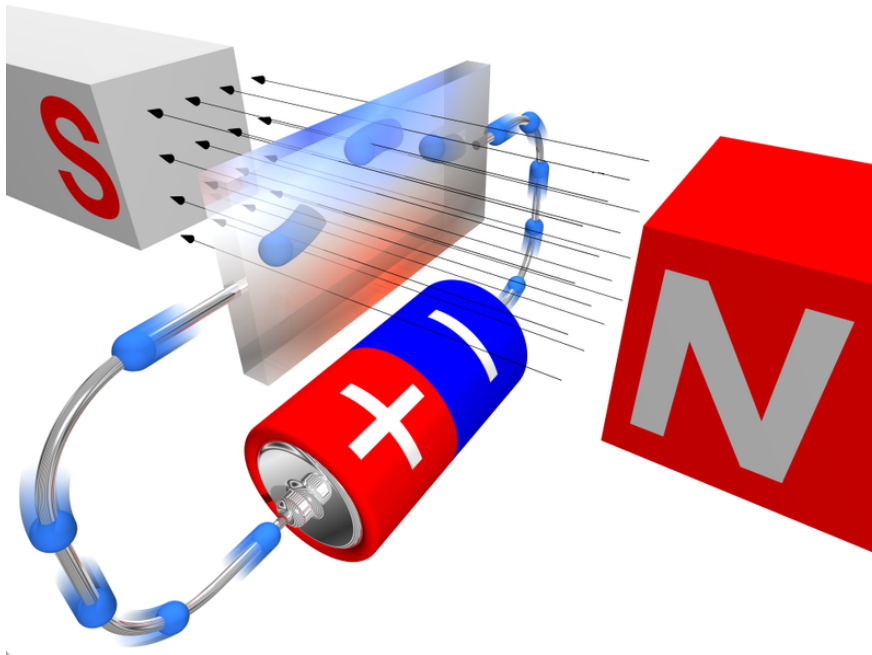
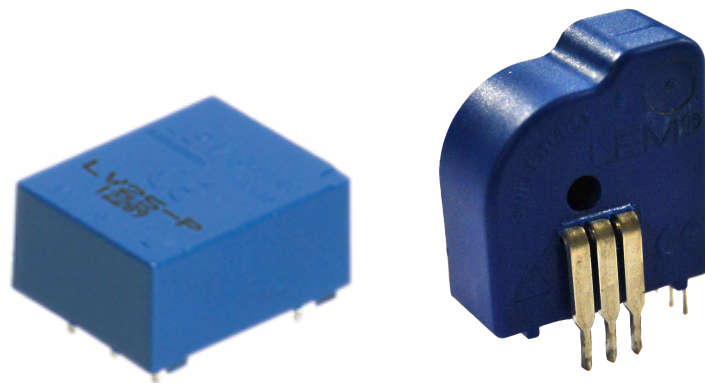


Figura 3.4: Representação gráfica do Efeito de Hall [Wikipedia, 2010].



(a) Transdutor de tensão LV25-P. (b) Transdutor de corrente LTS15-NP.

Figura 3.5: Transdutores LEM utilizados.

<b>Características do LEM LV25-P</b>
- Excelente linearidade e precisão.
- Isola o circuito.
- Alta capacidade de resposta e imunidade ao ruído externo.
- Baseado no Efeito de Hall.
- Embalagem isolada de acordo com UL 94-V0.
- Reduzida margem de erro devido a variações de temperatura.

Tabela 3.5: Características fundamentais do transdutor de tensão LEM LV25-P.

<b>Características do LEM LTS15-NP</b>
- Excelente linearidade e precisão.
- Alimentação unipolar.
- Isola o circuito.
- Alta capacidade de resposta e imunidade ao ruído externo.
- Baseado no Efeito de Hall.
- Embalagem isolada de acordo com UL 94-V0.
- Desenho compacto para montagem em placas PCB.
- Reduzida margem de erro devido a variações de temperatura.
- Capacidade de sobrecarga de corrente.

Tabela 3.6: Características fundamentais do transdutor de corrente LEM LTS15-NP.



### 3.2.2.3 Dimensionamento e planeamento do circuito

Para dimensionar o circuito da interface analógica há que ter em conta alguns detalhes fundamentais:

- Os valores de tensão que chegam aos canais do CS5463 não podem ultrapassar os 250mV pico;
- Embora o CS5463 tenha uma impedância elevada nos seus canais, de acordo com o seu manual, a corrente que chega aos seus canais deve ser mínima;

**Transdutor de Tensão** A finalidade do transdutor de tensão é a captação do valor de tensão que ocorre na linha (*voltage sensing*). Em primeira instância procedeu-se ao dimensionamento das resistências para o transdutor de tensão (LV25-P). Existem duas distintas: a resistência do primário  $R_P$  e a de medida  $R_M$ . No *datasheet* do LV25-P aconselham-se para  $R_M$  alguns valores em função da corrente no primário  $I_P$ . O valor escolhido terá que implicar uma corrente máxima de 10mA quando o transdutor está alimentado a 15V. No mesmo manual, é indicado que o valor de  $R_M$  se deve situar entre 100 e 350 $\Omega$ , para que se obtenha um valor de corrente próximo dos 10mA desejados. Após alguns ensaios chegou-se à conclusão que o valor ideal se situa nos 180 $\Omega$ . Por seu turno, a resistência do primário  $R_P$ , foi escolhida tendo em conta a corrente que a atravessa e a sua capacidade de dissipação. Uma vez mais, no manual do LV25-P é sugerido um valor de 25k $\Omega$ /2,5W, para uma corrente  $I_P$  de 10mA e tensão na linha  $V_{AC}$  de 250V. Testes e medições indicam que uma resistência de 22k $\Omega$  com uma potência de dissipação de 5W será adequada. Através de um simples cálculo confirma-se que uma resistência de 22k $\Omega$  sujeita a uma corrente de 10mA (valores eficazes) terá que dissipar uma potência máxima de 2,2W (eq. 3.10). O esquema é ilustrado pela Figura 3.6.

$$P = 22000 \times (0,01)^2 = 2,2W \quad (3.10)$$

Tendo em conta que  $I_P$  é a corrente no primário,  $I_S$  a corrente no secundário,  $V_M$  a tensão no secundário e  $V_{AC}$  a tensão na linha, tem-se que:

$$I_S = 2,5 \times I_P \quad ; \quad I_P \approx \frac{V_{AC}}{R_P} \quad ; \quad V_M = I_S \times R_M \quad (3.11)$$

Logo, é possível calcular a tensão à saída através de:

$$V_M = 2,5 \times \frac{V_{AC} \times R_M}{R_P} \quad (3.12)$$

Na prática as medições efectuadas com o osciloscópio mostram que a tensão  $V_M$  à saída do transdutor de tensão tem um valor próximo de 6V pico, com as resistências escolhidas anteriormente. Dado que se pretende um valor máximo de 250mV pico no canal V+ do CS5463 (limite referido no *datasheet* [CS5463 dtsht, 2010]), foi necessária a introdução de um divisor resistivo. Sendo que a relação de um divisor resistivo (em que  $V_{in} = V_M$ ), de acordo com o esquema da Figura 3.7 é:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (3.13)$$

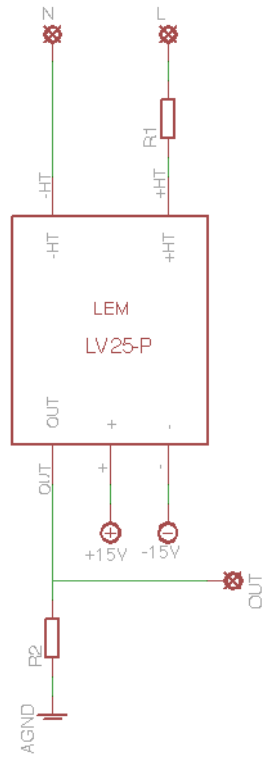


Figura 3.6: Esquema do LV25-P.

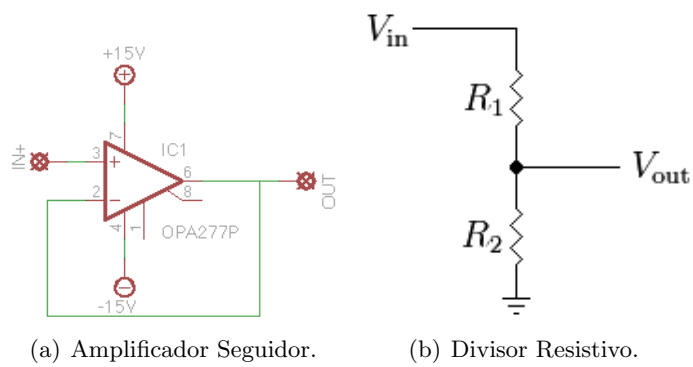


Figura 3.7: Circuitos auxiliares.

Fica, contudo uma outra questão pendente. O divisor resistivo não pode ser aplicado directamente junto do transdutor de tensão, pois irá interferir com a resistência de medição  $R_M$ . Para resolver esta situação aplica-se um amplificador operacional (OPAMP) a operar como seguidor entre  $R_M$  e o divisor resistivo. Desta forma consegue-se impedir a passagem de corrente quase na sua totalidade para o divisor resistivo, graças à alta impedância do OPAMP. O esquema do amplificador seguidor pode ser visualizado na Figura 3.7(a). A aplicação do mesmo é apresentada na Figura B.2, no fim desta secção.

O modelo de amplificador escolhido para esta implementação foi o OPA277P da Burr-Brown (Figura 3.8).



Figura 3.8: Amplificador operacional OPA277P da Burr-Brown .

Após a aplicação do divisor resistivo e do OPAMP, foram escolhidos para o divisor resistivo  $R_1=12k\Omega$  e  $R_2=460\Omega$ .  $R_M$  e  $R_P$  têm respectivamente os valores de  $180\Omega$  e  $22k\Omega$ . Surge então a relação final que traduz a transformação linear operada pela interface analógica entre a linha e o canal de tensão do CS5463 (eq 3.14), em que  $V_{AC}$  é a tensão na linha e  $V_{Sv}$  a tensão entre os canais  $V+$  e  $V-$  do CS5463.

$$V_{Sv} = 2,5 \times \frac{V_{AC} \times R_M}{R_P} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 7,55 \times 10^{-4} \times V_{AC} \quad (3.14)$$

**Transdutor de Corrente** A finalidade do transdutor de corrente LTS15-NP no circuito é detectar as variações de corrente na linha (*current sensing*), transformando-as em pequenas variações de tensão mensuráveis pelo CS5463. Para o funcionamento correcto do transdutor de corrente há que definir a corrente nominal no primário ( $I_{PN}$ ) do transdutor. Segundo o *datasheet* ([LTS15-NP dtsht, 2010]) são dadas três opções distintas ao projectista: 5A, 7,5A e 15A. Para configurar o valor desejado basta efectuar a escolha das ligações de entrada no transdutor. As opções são ilustradas na Figura 3.9.

Para este trabalho de dissertação, tratando-se de um protótipo em placa branca, foi seleccionada a opção de 15A, a qual tem as ligações mais simples. Perde-se um pouco de precisão, mas neste caso não terá grande relevo visto ser apenas um protótipo.

Uma vez mais analisando o manual do LTS15-NP conclui-se que a tensão de saída  $V_i$  pode ser obtida com a relação 3.15, em que  $I_P$  representa a corrente no primário,  $I_{PN}$  a corrente nominal no primário e  $V_i$  a tensão entre a saída do LTS15-NP e os 0V (GND). Na Figura 3.10 é representado um esquema do LTS15-NP, em que LIN é a entrada da linha, LOUT a saída

Number of primary turns	Primary nominal r.m.s. current $I_{PN}$ [A]	Nominal output voltage $V_{OUT}$ [V]	Primary resistance $R_p$ [m $\Omega$ ]	Primary insertion inductance $L_p$ [ $\mu$ H]	Recommended connections
1	$\pm 15$	$2.5 \pm 0.625$	0.18	0.013	
2	$\pm 7.5$	$2.5 \pm 0.625$	0.81	0.05	
3	$\pm 5$	$2.5 \pm 0.625$	1.62	0.12	

Figura 3.9: Opções de configuração de acordo com a corrente nominal no primário do LTS15-NP [LTS15-NP dtsht, 2010].

da linha (na qual circulam as correntes  $I_P$  e  $I_{PN}$ ) e  $V_i$  a tensão  $V_i$  referida anteriormente.

$$V_i = 2,5 \pm 0,625 \times \frac{I_P}{I_{PN}} \quad (3.15)$$

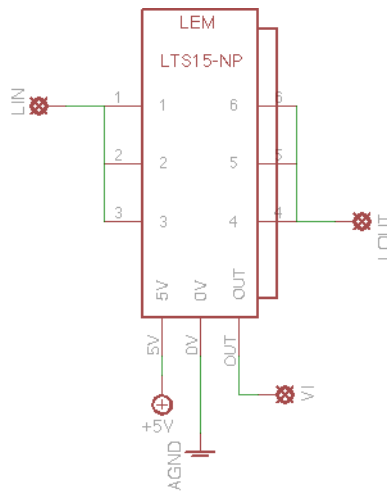


Figura 3.10: Esquema do LTS15-NP.

É vital ter em consideração que a relação anterior traduz uma componente DC e uma AC. A componente DC tem o valor constante de 2,5V (tal como indicado no *datasheet* do LTS15-NP e comprovado com o osciloscópio), ao passo que apenas a componente AC varia com as correntes que circulam no primário ( $I_P$ ). Neste caso apenas a componente AC é relevante, sendo a DC prejudicial às medições do CS5463.

Posto este facto, o passo seguinte foi eliminar a componente DC proveniente do transdutor de corrente. Para tal, utilizou-se um amplificador diferencial, baseado no OPA277P, ilustrado na Figura 3.8. Os cálculos para este tipo de implementação são dados pela relação 3.17 de

acordo com o esquema exemplo da Figura 3.11(a).

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \times V_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \times V_2 \quad (3.16)$$

Seleccionando resistências de valor igual obtém-se uma equação mais simples:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \times V_1 \quad (3.17)$$

No caso do trabalho apresentado seleccionaram-se 4 resistências de  $10k\Omega$ , e um valor de  $2,5V$  para  $V_1$ , sendo que  $V_2$  representa o sinal vindo do transdutor de corrente. Conseguise desta forma a subtracção da componente DC introduzida pelo transdutor de corrente, deixando apenas a componente AC, a qual serve as medições do CS5463.

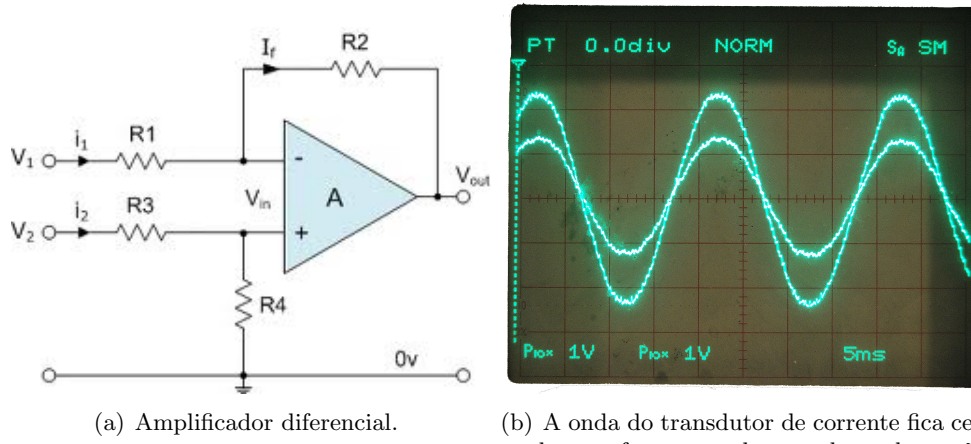


Figura 3.11: Esquema de um amplificador diferencial (a)[E.T., 2010] e seu efeito (b).

Para concluir o condicionamento de sinal, colocou-se um circuito seguidor baseado num OPA277P, seguido de um divisor resistivo que reduz a componente AC em metade do seu valor. O objectivo é diminuir um pouco a pegada de corrente que cada electrodoméstico assinala no CS5463. Desta forma não se atinge o limite da escala de  $250mV$  pico do analisador de energia com tanta facilidade. A relação final entre a corrente no primário  $I_P$  e a tensão  $V_{Si}$  entre os canais I+ e I- do CS5463 é representada pela equação 3.18

$$V_{Si} = 0,625 \times \frac{I_P}{15 \times 2} = 0,0208 \times I_P \quad (3.18)$$

Há contudo que ter em consideração um aspecto final. Dada a relação anterior, o valor máximo de  $I_P$  não pode originar valores de  $V_{Si}$  superiores a  $250mV$  pico ou  $177,77mV_{RMS}$ , o valor máximo suportado pelo canal I+ do CS5463. Posto este facto, a corrente máxima eficaz  $I_{max}$  que pode atravessar a linha sem ultrapassar a escala deste último dispositivo será de  $8,55A$  (eq 3.19), valor inferior aos  $15A$  de  $I_{PN}$ .

$$I_{max} = \frac{0,17777}{0,0208} = 8,55A \quad (3.19)$$

Note-se que o dimensionamento do divisor resistivo é feito em função do valor da corrente máxima que pode circular na linha. Na prática uma relação de redução superior no divisor resistivo expande a escala de valores de  $I_p$  aceites, dado que estes vão corresponder a valores inferiores de  $V_{Si}$ . O motivo pelo qual não foi escolhida uma relação de redução superior deve-se à presença de ruído na placa de prototipagem, o qual iria ter um valor demasiado significativo nas medições do CS5463. Este facto comprovou-se com um teste feito a uma lâmpada de 60W.

A tabela 3.7 resume os componentes utilizados no Módulo 3. As Figuras B.2 e 3.12 ilustram o circuito e a foto do Módulo 2, respectivamente.

Componente	Quantidade	Função
LV25-P	1	Transdutor de tensão.
LTS15-NP	1	Transdutor de corrente.
Led 3mm	1	Para visualização de eventos.
Resistência 100 $\Omega$	1	Para divisor resistivo.
Resistência 180 $\Omega$	1	Resistência de medida.
Resistência 360 $\Omega$	1	Para divisor resistivo.
Resistência 1k $\Omega$	3	Limitam a corrente nos Leds.
Resistência 10k $\Omega$	4	Amplificador diferencial.
Resistência 12k $\Omega$	1	Para divisor resistivo.
Resistência 22k $\Omega$ (5W)	1	Resistência de carga.
Condensador 1 $\mu$ F	4	Estabilizam os OPAMPS.
L7805CV	1	Regulador de tensão para 5V.

Tabela 3.7: Componentes essenciais do Módulo 2.

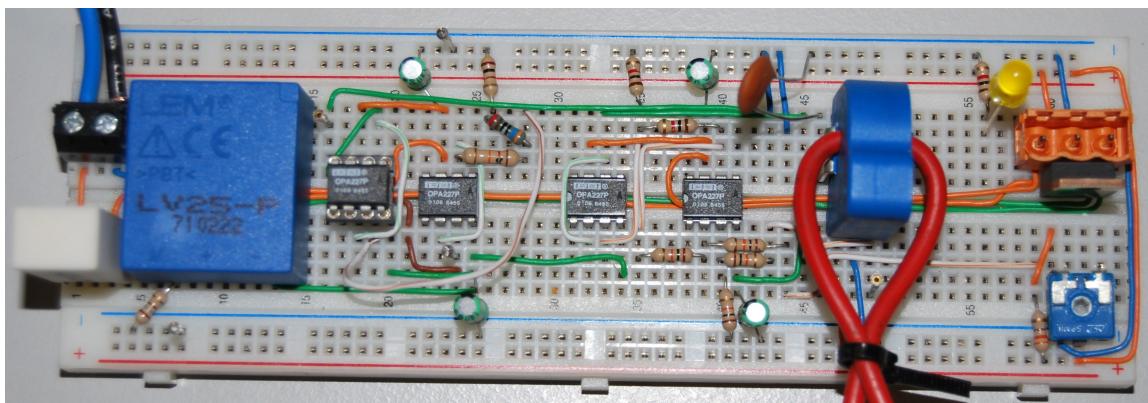


Figura 3.12: Foto do Módulo 2.

### 3.2.3 Módulo 3 - Sistema de leituras

Para se obterem os valores das medições é necessário que exista um microcontrolador que acesse aos registos internos de CS5463 e extraia os dados que lá estão armazenados. Para além disso há que ter em consideração que os valores têm que ser convertidos em medições concretas e enviadas para um servidor remoto. Enquanto o microcontrolador consegue executar estas conversões, este não tem à partida forma de estabelecer comunicação com um servidor remoto através do protocolo TCP/IP, apenas dispondo de 3 tipos de comunicação: série (síncrona e assíncrona) e CAN. Para colmatar esta lacuna considerou-se a introdução de um dispositivo integrado que implementa o protocolo TCP/IP aliado à comunicação sem fios.

Em primeira instância consideraram-se três protocolos baseados em rádio-frequência, cada um com as suas características próprias: ZigBee, Bluetooth e WiFi. Todos têm características indicadas para a transmissão da informação pretendida.

#### 3.2.3.1 ZigBee

O nome *ZigBee* provém da junção de ziguezague (Zig) com abelha (Bee), tendo sido adoptado dado o comportamento de circulação da informação no protocolo, em ziguezague pelas malhas da rede, tal como fazem as abelhas [Farahani, 2008].

Trata-se de um protocolo baseado no padrão IEEE 802.15.4 que permite a troca de informação sem fios, embora pequenas quantidades de cada vez. Tal como o Bluetooth é destinado a transmissões de curta distância. O *ZigBee* alia à transmissão de dados sem fios um consumo energético significativamente reduzido e um elevado nível de fiabilidade, trazendo consigo hipóteses de aplicação muito vastas. Utilizado tanto em automação industrial como em dispositivos médicos ou mesmo na domótica, esta última surge sem dúvida como a área de maior potencial, dado que existem inúmeros dispositivos que urgem a comunicação entre si numa habitação, mas que obrigam à passagem de inestéticos e, por vezes, dispendiosos cabos ou fazem uso de tecnologias obsoletas. Destacam-se aplicações em sistemas autónomos de segurança, sistemas de irrigação, controlo de iluminação, distribuição automática de temperatura (sistemas HVAC multizona) ou mesmo em controlos remotos (substituição de IRDA) [Farahani, 2008].

Pese embora, no contexto desta dissertação, o maior interesse centra-se na aplicação de redes *ZigBee* em sistemas autónomos de medição ou telecontagem.

Ilustradas as hipóteses de aplicação do protocolo ZigBee, podem então resumir-se algumas das suas características essenciais:

- **Baixo consumo energético** - possibilita a utilização de pequenas unidades remotas, autónomas durante longos períodos de tempo sem a necessidade de manutenção.
- **Baixo custo** - devido à reduzida exigência do protocolo, é possível implementá-lo em unidades com pouca memória e processamento.
- **Elevada densidade de dispositivos** - possibilita ligar numa só rede um máximo de 65535 dispositivos a um coordenador.
- **Diferentes topologias de rede** - admite ligações em estrela (star), malha (mesh) ou árvore (cluster tree), permitindo o estabelecimento de redes de nós *ad-hoc*.

- **Operação em três bandas** - é possível operar em três bandas de rádio: 2.4 GHz (globalmente), 915 MHz (Estados Unidos) e 868 MHz (Europa). Cada uma apresenta, respectivamente, uma taxa de transmissão de 250 kbps, com 16 canais, 40 kbps, com 10 canais, e 20 kbps, com um só canal. Utilizando, no caso de 2.4 GHz, a modulação O-QPSK (Offset Quadrature Phaseshift Keying) e nos outros casos BPSK (Binary Phase Shift Keying).
- **Tempos de ligação reduzidos** - apresenta maior rapidez na ligação e na passagem do modo standby para activo e também uma baixa latência.
- **Dois estados de operação** - activo, quando envia ou recebe dados, e sleep, não sendo necessária a preocupação da aplicação na selecção destes estados.
- **Encaminhamento** - o protocolo ZigBee, quando não existe uma ligação directa com o dispositivo de destino, permite que as mensagens sejam reencaminhadas por outros dispositivos da rede.
- **Segurança** - utilizando um algoritmo de encriptação de mensagens.

[Farahani, 2008]

A norma IEEE 802.15.4 define duas categorias distintas de dispositivos de acordo com o seu grau de funcionalidade. Existem os que implementam todas as camadas protocolares (stacks), os *Full Function Devices* (FFD) e os que implementam apenas algumas, de forma a ter as funcionalidades desejadas. A estes últimos dá-se a designação de *Reduced Function Devices* (RFD). As vantagens dos FFD centram-se na mais vasta possibilidade de aplicações. Por outro lado, os RFD são mais poupados em recursos, dado que vêm as suas funcionalidades reduzidas e os seus custos mais baixos. Dentro das classificações de FFD e RFD, encontram-se ainda algumas diversificações, de acordo com a função principal do dispositivo na rede. Se os FFD podem dar origem a *Coordenadores*, *Routers* ou *Endpoints*, já os RFD são, por norma, *Endpoints* [Farahani, 2008].

O *Coordenador* é o dispositivo que cria e gere a rede toda, mantendo a tabela de encaminhamento das mensagens. Em cada rede *ZigBee* existe unicamente um dispositivo coordenador, podendo este comunicar directa, ou indirectamente, com qualquer outro dispositivo da rede.

As funções mínimas a serem executadas por um *Coordenador*, são:

- Alocar um endereço único (16 ou 64 bit) a cada dispositivo na rede;
- Iniciar, terminar e reencaminhar mensagens na rede;
- Seleccionar um identificador PAN para a rede, o qual permite aos dispositivos da mesma comunicarem entre redes, continuando endereçados a 16 bit.

[Farahani, 2008]

O *Router* é o dispositivo que, normalmente, faz a ligação entre o coordenador e os RFDs, sendo o seu objectivo encaminhar as mensagens entre estes. Para isso cada *router* pode comunicar com o coordenador, outros *Routers* e com os RFDs ligados a este, implementado toda a *stack ZigBee*.

Por seu turno, o *Endpoint* é o dispositivo mais simples, que tem apenas como função monitorar e enviar o estado das variáveis a ele associadas, podendo apenas comunicar com o FFD a ele directamente ligado [Farahani, 2008].



**Topologias de Ligação:** Numa rede *ZigBee* existem diversas formas de organização, as quais dependem do tipo de dispositivos e da forma como estão ligados entre si. São as chamadas *topologias de ligação*, entre as quais se distinguem três: Estrela, Malha e Árvore. Embora tenham as suas diferenças, existem factores comuns. O mais evidente é o facto de existir apenas um *Coordenador*, o dispositivo responsável pela iniciação e controle da rede [Farahani, 2008].

Na disposição em *Estrela* (Star) existe um coordenador que comanda directamente um conjunto de *Endpoints*. Não existem dispositivos reencaminhadores (*Routers*) nesta topologia. Faz sentido a utilização deste tipo de organização em redes cujos elementos existam em pequeno número e que tenham uma certa proximidade. Apresenta vantagens na simplicidade de configuração e criação de algoritmos para o seu funcionamento, o que se traduz em menor sobrecarga de processamento ao *Coordenador* [Farahani, 2008].

Na topologia em *Malha* (*Mesh*), todos os dispositivos podem comunicar entre si, desde que tenham proximidade suficiente e que o sinal não seja interrompido por obstáculos. A maior diferença relativamente à topologia em *Estrela* reside na existência de mais do que um FFD na rede, o que traz um conjunto de implicações. Em primeiro lugar, qualquer FFD se pode tornar num *Controlador*, assumindo este estatuto o primeiro FFD da rede a executar tais funções. Os restantes FFDs são *Routers* [Farahani, 2008].

Surge também uma capacidade maior de comunicação dentro da rede, com maior resistência a falhas de ligação entre dispositivos. Basicamente a quebra de ligação entre dois FFDs, por exemplo devido à presença de uma barreira temporária, não inibe por completo a passagem da informação até ao seu destino. Tal se deve ao facto de existir a possibilidade de reestruturação da rede, ligando-se o FFD cuja informação não pôde ser passada, a outro FFD na proximidade e que esteja funcional. Desta forma, consegue-se uma certa multiplicidade de caminhos do *Endpoint* ao *Coordenador* [Farahani, 2008].

Em tudo muito semelhante à Topologia em *Malha*, a *Árvore* (*Tree*) assenta praticamente nos mesmos princípios. A diferença entre ambas reside no facto existir um *Coordenador* muito bem definido que estabelece a rede inicial e comunica com *Routers*. Estes formam os ramos da árvore, ficando com a função de reencaminhamento de mensagens e sendo os responsáveis pelo crescimento da rede [Farahani, 2008].

Para implementar o protocolo num microcontrolador através de uma porta USART (comunicação série assíncrona), existem dispositivos no mercado como o XBee da Digi . Estes são completamente configuráveis através de comandos AT, perante a utilização de um terminal no PC, e já implementam internamente todas as camadas protocolares, tendo apenas o utilizador que se preocupar em configurar as topologias de rede e as porta série do seu microcontrolador. A Figura 3.13 ilustra o dispositivo referido.

### 3.2.3.2 Bluetooth

O Bluetooth é um protocolo de comunicação por rádio-frequência, baseado no padrão IEEE 802.15.1-2002. Funciona na frequência de 2,4GHz, tal como o ZigBee e o WiFi. Entre as suas aplicações típicas encontram-se a transmissão de áudio, transmissão de ficheiros ou ligações à rede, em detrimento da utilização de WiFi ou Ethernet. É extremamente vulgar ver implementações de Bluetooth em auriculares sem fios, telefones móveis, automóveis, entre outros [Bluetooth, 2010].

Actualmente existem quatro versões distintas do Bluetooth: 1.2, 2.1, 3.0 e 4.0. Da es-



Figura 3.13: Dispositivo XBee Pro da Digi .

pecificação 1.2 à 3.0 há um crescendo de capacidades, tais como o alcance e velocidade de transmissão. Já a especificação 4.0 representa um protocolo de muito baixo consumo e curto alcance, destinado a aplicações muito específicas, tais como a instrumentação de apoio à medicina [Bluetooth, 2010].

As redes do Bluetooth funcionam com base na arquitectura mestre-escravo, sendo que o seu modo de operação se realiza através do envio de pacotes. Um mestre pode comunicar ate 7 escravos num "piconet". O dispositivo mestre define o relógio para os escravos, tal que a troca de pacotes se apoia neste mesmo relógio, funcional em intervalos de  $312,5\mu s$ . Os mestres podem comunicar entre si, sendo esta a única forma de reencaminhar a informação em zonas de alcance insuficiente, sujeitas a quebras de sinal. O topologia mais comum nas aplicações de Bluetooth é a ligação directa entre dois dispositivos (AD-HOC) [Bluetooth, 2010].

As características essenciais do Bluetooth são [Bluetooth, 2010]:

- Ideal para transmissão de voz e dados;
- Opera no espectro de frequências de 2,4GHz;
- O alcance depende da aplicação que se pretende e pode ser ajustado;
- Velocidade máxima de transmissão de dados de 3Mbps;
- Consegue penetrar objectos sólidos;
- Omnidireccional;
- Bom nível de segurança;
- Mais lento no arranque e mais consumidor de energia que o ZigBee;
- Menos consumidor de energia que o WiFi.

A Figura 3.14 ilustra um dispositivo típico que implementa o protocolo Bluetooth, ligando-se através de uma porta série síncrona ao módulo USART de um microcontrolador, por exemplo.



Figura 3.14: Dispositivo Bluetooth SPBT2532C2.AT da ST Microelectronics .

### 3.2.3.3 WiFi

O WiFi é um protocolo de comunicação por rádio-frequência, baseado no padrão IEEE 802.11. Funciona na frequência de 2,4GHz, tal como o ZigBee e o Bluetooth. Entre as suas aplicações típicas encontram-se a transmissão de elevados volumes de dados, normalmente a substituir ligações Ethernet. Tornou-se rapidamente num protocolo omnipresente graças aos *routers* sem fios vendidos pelos fornecedores de serviços de internet (ISPs) [WiFi, 2010].

Actualmente existem em funcionamento algumas variações do padrão: 802.11a/b/g/n. As mais comuns são o 802.11b,g e n, sendo evoluções graduais uns dos outros. Por seu turno, o 802.11a funciona num espectro de frequência diferente, daí que seja menos comum em ambientes residenciais ou públicos, pois nestes locais pretende-se boa compatibilidade [WiFi, 2010].

As topologias de rede do WiFi são idênticas às do Bluetooth, funcionando em rede e em AD-HOC. Contudo as semelhanças terminam neste aspecto, pois o WiFi está relacionado com infra-estruturas de complexidade variável. Podem ir de simples redes caseiras a infra-estruturas que interligam áreas de dimensão considerável, tais como campus universitários [WiFi, 2010].

As características essenciais do WiFi são:

- Ideal para transmissão de largos volumes de dados;
- Indicado para criação de redes complexas;
- Opera no espectro de frequências de 2,4GHz;
- O melhor alcance dos três protocolos em análise;
- Velocidade máxima de transmissão de dados de 200Mbps;

- Consegue penetrar objectos sólidos e transmitir através de diversos pisos;
- Omnidireccional;
- Excelente nível de segurança;
- Funciona com base no TCP/IP ou UDP (versátil);
- Consome bastante energia em comparação aos restantes;

[WiFi, 2010]



(a) Matchport b/g da Lantronix  
[Matchport, 2010].



(b) NanoSocket iWiFi da Connect One .

Figura 3.15: Dispositivos WiFi considerados.

#### 3.2.3.4 Protocolo Escolhido e Hardware

Comparando as características dos protocolos apresentados, considerou-se o WiFi o mais indicado para aplicar no projecto. Os motivos prendem-se com:

- Excelente alcance;
- A aplicação não requer infra-estruturas adicionais, fazendo uso de qualquer *router* WiFi que exista dentro de uma habitação ou espaço público;
- Omnipresente;
- Baixo consumo de energia não é prioritário.

Tomada a decisão, pesquisou-se por um dispositivo com alguns requisitos fundamentais:

- Possui interface UART (ou USART);
- Implementa internamente o protocolo TCP/IP;
- Tem capacidade de ser cliente Web;
- Implementar uma interface WiFi

No fundo será um cliente TCP/IP que envia os dados pela porta UART, através de WiFi. Encontraram-se duas marcas que cumprem os requisitos exigidos. O primeiro modelo a ser avaliado foi o *Lantronix Matchport* (Figura 3.15(a)). O segundo modelo foi o *NanoSocket iWiFi* da *Connect One* (Figura 3.15(b)). Ambos têm funcionalidades semelhantes, contudo o segundo traz antena integrada, tem dimensões mais reduzidas, possibilidade de *update* de *firmware* e é significativamente mais barato.

### 3.2.3.5 NanoSocket iWiFi

O *NanoSocket iWiFi* (Figura 3.15(b)) é um pequeno dispositivo servidor de alta segurança do tipo série para *Wireless Lan*, que também oferece a possibilidade de acesso a redes sem fios, a dispositivos apenas munidos de portas série. É constituído por três componentes essenciais: um microprocessador iChip 2144 que implementa todos os protocolos associados ao TCP/IP e UDP e um sistema de interacção por comandos AT, um *chip* com funcionalidades de transceiver WiFi da Marvell, e uma antena em formato SMD da Antenova [NanoSocket dtsht, 2010].

A Tabela 3.8 apresenta as funcionalidades e tipos de segurança do *NanoSocket iWiFi*.

NanoSocket iWiFi
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cria uma linha de segurança entre a rede e o anfitrião.</li> <li>- Contém um socket SSL3 seguro.</li> <li>- Permite os protocolos de segurança WiFi: WEP e WPA/WPA2 (PSK e Enterprise).</li> <li>- Suporta a utilização de certificados.</li> <li>- Clientes FTP e HTTP seguros através de SSL3.</li> <li>- Servidor seguro HTTPS através de SSL3.</li> <li>- Geração de números aleatórios por <i>hardware</i>.</li> <li>- Aceleração por <i>hardware</i> de AES, 3DES E SHA.</li> <li>- Suporta até 10 <i>sockets</i> TCP/IP e 2 <i>sockets</i> de escuta.</li> <li>- Pode ser cliente HTTP OU HTTPS.</li> <li>- Capacidade de servidor HTTP/HTTPS e armazena até 2 sítios em memória interna.</li> <li>- Pode ser cliente FTP, FTPS OU TELNET.</li> <li>- Pode ser cliente ou servidor DHCP.</li> <li>- Envio e recepção de <i>email</i> com anexos MIME.</li> <li>- Suporta infra-estruturas AD-HOC ou Wireless LAN.</li> <li>- Modo SerialNET para <i>bridging</i> série-IP (servidor de porta).</li> <li>- Possibilidade de <i>update de firmware</i> localmente.</li> <li>- configuração remota e <i>update de firmware online</i>.</li> <li>- Capacidade de devolução de data e hora de um servidor <i>online</i>.</li> </ul>

Tabela 3.8: Características da *NanoSocket iWiFi* [NanoSocket dtsht, 2010].

Feita uma revisão às características do dispositivo, facilmente se concluiu que o modo de operação pretendido era o modo SerialNet, pois este permite implementar num microcontrolador com uma porta série (síncrona ou assíncrona) disponível, capacidades de cliente TCP/IP, permitindo a ligação do mesmo a um servidor do mesmo género.

Posto este facto, procedeu-se à configuração do *NanoSocket iWiFi*, através de um terminal no PC. Graças ao iChip 2144, é possível interagir com o dispositivo através de comandos AT<sup>2</sup>, neste caso específico, AT+i. Estes podem ser consultados num manual próprio disponível na página do fabricant ([iChip AT+i, 2010]).

Todos os comandos se iniciam por **AT+i** e terminam com o carácter 13 da Tabela ASCII, ou seja o “Carriage Return <CR>”, que na linguagem C é representado por “\r”. Um exemplo desta implementação é a realização de um PING para um servidor remoto, o qual se faz através de: **AT+iPING=193.137.121.19<CR>**.

Pretende-se configurar o dispositivo para aceder à rede aberta mantida pelo *router* do laboratório. O SSID do ponto de acesso que se procura é “LSFPnet”. O conjunto de comandos a enviar é o seguinte:

**AT+iRP20<CR>** Consultar as redes WiFi disponíveis na zona;

**AT+iWLSI=LSFPnet<CR>** Indicar ao dispositivo o SSID da rede;

**AT+iIPA=?<CR>** Confirmar que existe um IP atribuído;

Caso se pretendam atribuir manualmente endereços de IP, Gateway e Máscara de Subrede podem utilizar-se as seguintes instruções:

**AT+iIPA=192.168.1.11<CR>** Atribuir um endereço IP;

**AT+iIPG=192.168.1.1<CR>** Atribuir um endereço de *gateway*;

**AT+iSNET=255.255.255.0<CR>** Atribuir máscara de subrede;

Adicionar o dispositivo a uma rede com alta segurança como a da Universidade de Aveiro requer a introdução de dados extra, tais como o certificado, o tipo de segurança e os dados do utilizador universal.

**AT+iCA=conteúdo do certificado<CR>** Introduzir o certificado de segurança;

**AT+iWLSI=eduroam<CR>** Indicar ao dispositivo o SSID da rede;

**AT+iWSTO=5<CR>** Seleccionar WPA Enterprise;

**AT+iEUSN=ua\username <CR>** Domínio\utilizador;

**AT+iEPSW=password <CR>** Palavra passe do utilizador;

configurada a ligação do *NanoSocket iWiFi* ao *router*, torna-se necessário introduzir os dados que indicam ao dispositivo que vai ser um cliente TCP/IP, mais propriamente o endereço do servidor remoto e a porta de escuta. Envia-se a instrução:

---

<sup>2</sup>O conceito e comandos AT está ilucidado em 3.3.2.2

**AT+iHSRV=193.137.121.19:81<CR>** Indicação de servidor remoto e porta;

No exemplo anterior os dados utilizados são fictícios, servindo apenas para ilustrar a ideia. Introduzido este parâmetro fica em falta apenas realizar a configuração da porta série do *NanoSocket iWiFi* e activar o modo *SerialNet*. As sequências seguintes servem este propósito.

**AT+iHIF=1<CR>** Seleccionar a USART 0 do dispositivo;

**AT+iSNSI="5,8,N,1,0"<CR>** configuração da porta série;

**AT+iSNMD=2<CR>** Entrar no modo *SerialNet*;

Tome-se nota que a entrada no modo *SerialNet* deve ser a última instrução a enviar, pois a partir deste ponto o dispositivo passará sempre a funcionar neste modo, com as configurações atribuídas. Todas os comandos que lhe chegam através da porta série são enviados para o servidor remoto e não contam como comandos AT. Caso se pretenda voltar a ter acesso aos comandos, basta levar a 3,3V o pino RESET durante 5 segundos. O dispositivo volta assim às definições de fábrica.

### 3.2.3.6 Microcontrolador

O microcontrolador escolhido para esta aplicação foi o PIC18F4685 dado ter boa capacidade de memória e boa conectividade, além de estar disponível no laboratório, factores importantes durante a fase de concepção do projecto.

A tabela 3.9 resume as características do microcontrolador seleccionado.

Parâmetro/funcionalidade	Valor
Memória para programa (tipo)	Flash
Memória para programa (kB)	96
Velocidade do CPU (MIPS)	10
EEPROM de dados (bytes)	1024
RAM (bytes)	3,328
Número de pinos	40
Comunicação SPI/I2C	Sim
Comunicação USART	Sim
Comunicação ECAN	Sim
Comunicação LIN	Sim
Oscilador Interno	Sim

Tabela 3.9: Características principais do PIC18F4685.

### 3.2.3.7 Implementação

A tabela 3.10 resume os componentes utilizados no Módulo 3. As Figuras B.3 e 3.16 ilustram o circuito e a foto do Módulo 3, respectivamente.

Componente	Quantidade	Função
PIC18F4685	1	Microcontrolador.
NanoSocket iWiFi	1	Dispositivo WiFi.
Led 3mm	3	Para visualização de eventos.
Resistência $1k\Omega$	3	Limitam a corrente nos Leds.
Resistência $10k\Omega$	6	Pull up/down.
Condensador $0,1\mu F$	2	Estabilizam os sinais de alimentação.
L7805CV	1	Regulador de tensão para 5V.
L1117	1	Regulador de tensão para 3,3V.

Tabela 3.10: Componentes essenciais do Módulo 3.

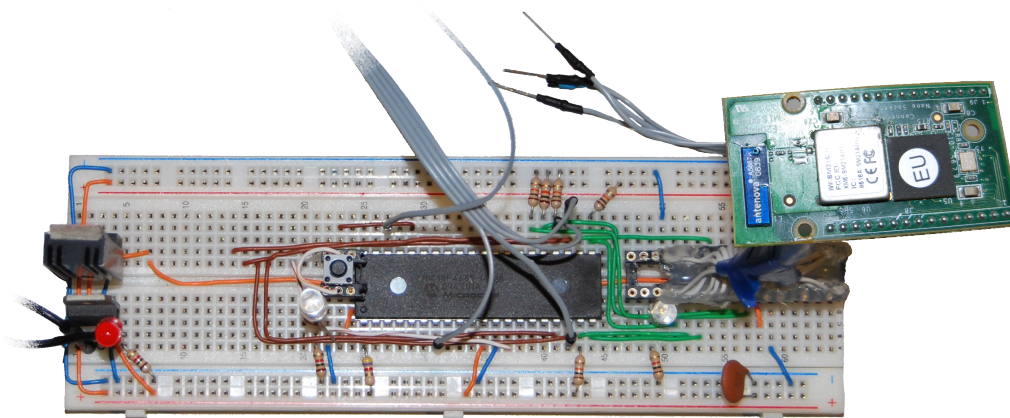


Figura 3.16: Foto do Módulo 3.



### 3.2.4 Módulo 4 - Interface GSM

Este módulo é composto por um microcontrolador que gere um modem GSM e cuja função é permitir a interacção com o sistema através de mensagens SMS. Foi escolhido um modem GSM que tem suporte para antena e cartão SIM. O modem escolhido foi um WAVECOM Wismo Quik Q2400 (denominado neste texto de Wavecom) pois este já inclui uma porta de série ideal para comunicar com um microcontrolador. Infelizmente, o modelo que existia no laboratório tem suporte PCI, logo tem que ser alimentado por um PC, não fazendo parte da montagem do Módulo 4. Foi o único modelo considerado devido a limitações de orçamento aliadas à disponibilidade no laboratório. A Figura X ilustra o dispositivo em questão. O microcontrolador que comunica com a Wavecom é o PIC18F458, escolhido pela sua boa capacidade de memória e disponibilidade no laboratório. As suas características são semelhantes às do PIC18F4685, descrito na Secção 3.2.3.6.

A interacção com o PIC18F4685 do Módulo 3 permite a escolha de um pacote de energia e é efectuada com base no protocolo SPI.

A tabela 3.11 resume os componentes utilizados no Módulo 4. A Figura B.4 esquematiza o circuito eléctrico inerente ao mesmo módulo. Na Figura 3.17 é apresentada uma foto do módulo em si.

Componente	Quantidade	Função
PIC18F458	1	Microcontrolador.
Wavecom	1	Dispositivo GSM.
Led 3mm	4	Para vizualização de eventos.
Resistência 1k $\Omega$	2	Limitam a corrente nos Leds.
Resistência 10 e12k $\Omega$	6	Pull up/down.
Condensador 0,1uF	1	Estabiliza os sinais de alimentação.
Cristal 4MHz	1	Relógio do microcontrolador

Tabela 3.11: Componentes essenciais do Módulo 4.

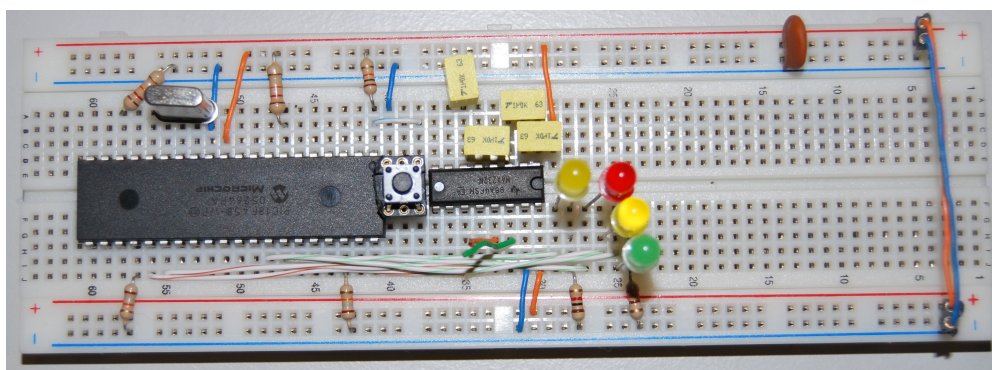


Figura 3.17: Foto do Módulo 4 sem o dispositivo GSM WAVECOM.

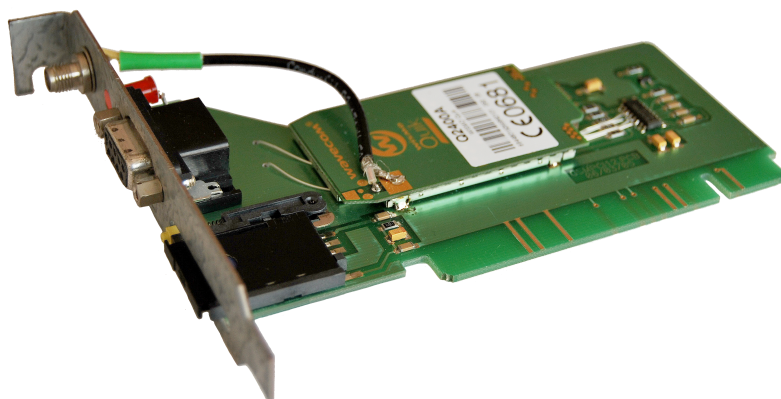


Figura 3.18: Dispositivo GSM, Wavecom Wismo Quik Q2400.

### 3.2.5 Módulo 5 - Triac

Por fim falta esclarecer como se conseguiu que o microcontrolador do Módulo 3 detenha capacidade de accionamento, ou seja, que consiga efectivamente controlar a linha através de corte ou fornecimento de energia. Para a finalidade utilizou-se um esquema baseado num TRIAC, um componente electrónico que funciona com duas tensões paralelas e que é accionado através de uma tensão na sua base.

É contudo necessário ter em mente que o microcontrolador tem que permancer isolado do TRIAC, dado que o primeiro funciona com tensões de 5V DC e o segundo com tensões na ordem dos 230V AC. Para esta finalidade existe o Optoacoplador MOC3021. Funciona como um DIAC mas o seu accionamento interno é óptico. Para fornecer a corrente necessária ao accionamento do MOC3021 é usado um transistor BC547C cuja base é controlada pelo microcontrolador. Desta forma garante-se que chega corrente suficiente ao optoacoplador.

Em resumo, o microcontrolador ataca a base do transistor, fazendo chegar corrente ao díodo interno do optoacoplador. Por sua vez, este permite a passagem de corrente vinda da linha para a base do TRIAC, o qual fecha o circuito faz chegar corrente a uma lâmpada ou outro electrodoméstico que se queira usar para teste do circuito.

A Figura B.5 representa o esquema eléctrico correspondente. A tabela 3.12 resume os componentes utilizados no Módulo 5.

Componente	Quantidade	Função
BT812	1	Triac.
MOC3021	1	Optoacoplador, isola o $\mu C$ do TRIAC.
BC547C	1	Transistor.
Resistência 220 $\Omega$	1	Limita corrente no díodo do MOC3021.
Resistência 470 $\Omega$	1	Limita corrente na base do Triac.
Resistência 4,7k $\Omega$	1	Base do transistor.

Tabela 3.12: Componentes essenciais do Módulo 5.

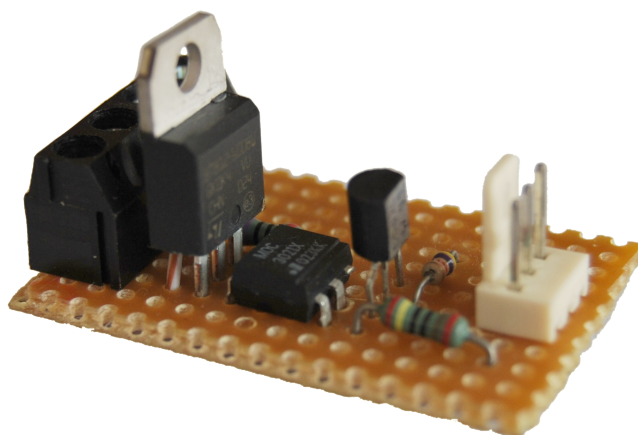


Figura 3.19: Montagem do Módulo 5.

### 3.2.6 Fonte de Alimentação

Para alimentar os circuitos integrados que compõem os módulos, foi necessário criar uma pequena fonte de alimentação baseada num transformador, ponte rectificadora e reguladores de tensão. À sua saída, esta fonte debita +15V e -15V. Estas tensões servem os OPAMPS, e o transdutor de tensão. Para alimentar os restantes dispositivos foram usados reguladores de tensão L7805CV, que baixam os +15V para +5V. Estes reguladores foram aplicados directamente nas placas brancas de montagem. As figuras 3.20 e B.6 ilustram respectivamente a fonte criada e o esquema do seu circuito.

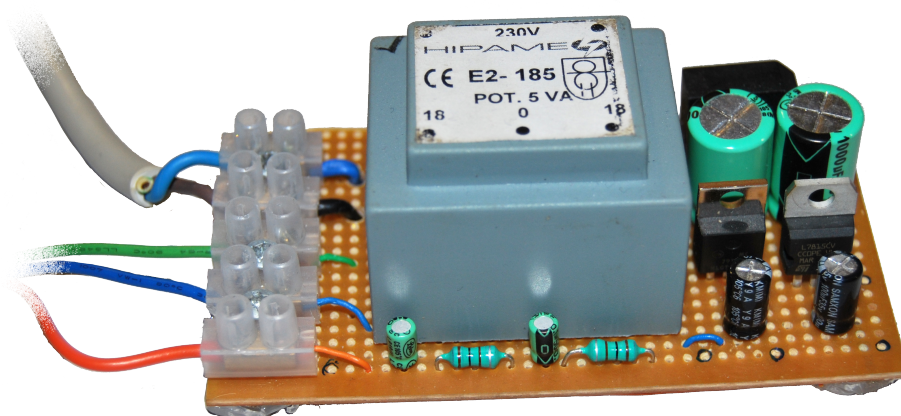


Figura 3.20: Montagem do Módulo 5.

### 3.3 Software

Um conjunto de aplicações foi desenvolvido para o protótipo. O esquema da Figura 3.21 ilustra o processo de funcionamento da componente de *software* deste trabalho.



Figura 3.21: Esquema de funcionamento do *software*.

#### 3.3.1 Recolha de medições e comunicação com servidor Web

Foi criada uma aplicação para o microcontrolador do Módulo 3 com os objectivos de configurar e interagir com o CS5463, enviar os dados das contagens ao servidor web, realizar o controlo dos pacotes de energia e trocar informação com o microcontrolador do Módulo 4 através de uma ligação física baseada no protocolo SPI. A linguagem de programação usada é a linguagem C e o compilador usado é o HiTech C Pro para PIC18 integrado no ambiente de desenvolvimento MPLAB IDE v8.40. Na Figura A.1 é ilustrado o diagrama de Fluxo da aplicação criada para o PIC18F4685 do Módulo 3.

### 3.3.1.1 Recolha de medições

Para efectuar a recolha de medições efectuadas pelo CS5463, foi necessário ter em conta três aspectos fundamentais: a comunicação com o dispositivo é realizada através de SPI, os valores chegam ao microcontrolador em conjuntos de 3 bytes com sinal e o CS5463 tem um sistema de interrupções que alertam quando as medições estão disponíveis.

De forma a obter um valor de potência ou de outra grandeza propriamente dito, foi necessário contornar a complexidade inerente à interpretação dos resultados lidos dos registos do CS5463. Com o objectivo de auxiliar a compreensão do problema, analise-se cada passo com detalhe, utilizando como exemplo a Potência Activa.

O primeiro procedimento baseou-se na leitura dos registos do dispositivo. Uma consulta às páginas de registos no manual do dispositivo revela que a Potência Activa corresponde à posição 10 na tabela de registos da página 0 do dispositivo (pág. 24 de [CS5463 dtsht, 2010]). Como se pretende efectuar a leitura, há que enviar através do barramento SPI uma sequência de 4 bytes em que o primeiro indica ao dispositivo qual o registo a que se pretende aceder e se o processo é de leitura ou escrita. Os três bytes restantes servem apenas para sincronização, dado que o microcontrolador é o dispositivo mestre e tem que gerar os impulsos para o CS5463 enviar os valores requisitados. A sequência de troca de mensagens é ilustrada na Figura 3.22. Dos bytes recebidos aproveitam-se apenas os três menos significativos. Estes traduzem-se num valor decimal, como visto mais à frente neste texto.

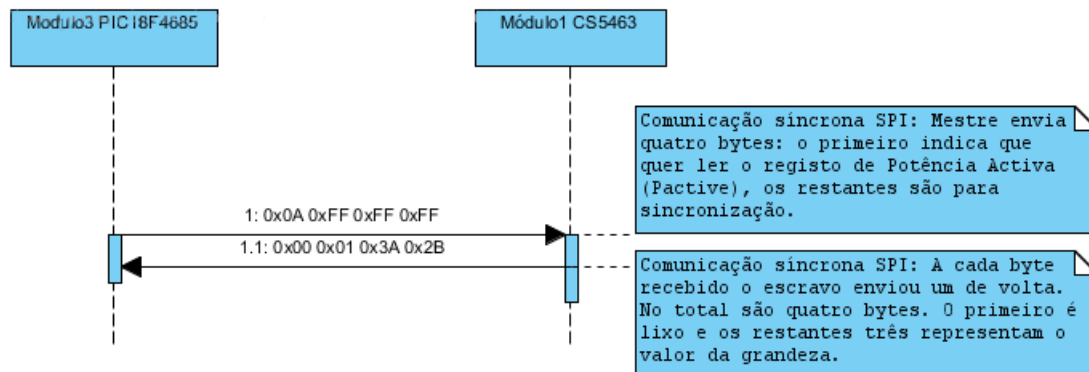


Figura 3.22: Exemplo de troca de mensagens entre os Módulos 1 e 3.

Dependendo do registo que se está a consultar, a conversão dos bytes para um valor decimal é feita de maneira diferente. O motivo prende-se com o facto de alguns registos representarem apenas valores inteiros positivos, enquanto outros representam valores reais positivos e negativos. Para uma máquina conseguir a representação de valores negativos, recorre à notação de segundo complemento ou complemento de  $2^3$ .

Tome-se uma vez mais o exemplo da Potência activa. Chegam 3 bytes ao microcontrolador que segundo o manual do dispositivo representam um valor no intervalo  $-1.0 \leq P_{active} < 1.0$ . Para se obter este valor há que realizar algumas operações bit a bit, as quais não vão ser aqui

<sup>3</sup>Para saber mais acerca da notação de segundo complemento consultar [Cornell, 2010].



demonstradas, dada a sua extensão. Contudo, o objectivo será juntar os três bytes e ajustar o resultado para que o valor obtido se situe no intervalo desejado.

O valor decimal obtido representa uma percentagem de um valor máximo de tensão. Este valor máximo depende do tipo de grandezas lidas dos registos e da relação introduzida pela interface analógica, no caso deste trabalho, o Módulo2 (Secção 3.2.2).

Tome-se o caso da corrente eficaz  $I_{rms}$ . Sabe-se à partida que esta grandeza depende do canal de corrente do CS5463, logo a relação que traduz a influência da interface analógica é:

$$V_{Si} = 0,0208 \times I_P \quad (3.20)$$

O valor máximo que multiplica a percentagem vinda do registo  $I_{rms}$  do CS5463 é dado por  $V_{Si}$  máximo, que neste caso, dado que é o limite do dispositivo, anda em torno dos 177,77mV<sub>rms</sub>. O valor de corrente a ser consumida por um electrodoméstico cuja percentagem  $p$  lida do registo  $I_{rms}$  fosse de 10% seria de:

$$I_P = \frac{p \times V_{Si}}{0,0208} = \frac{0,1 \times 0,17777}{0,0208} = 0,854A \quad (3.21)$$

Um processo semelhante é aplicável para determinar o valor de  $V_{rms}$ , estando a única diferença na relação da interface analógica, a qual passa a ser 3.14. Já no caso das potências o raciocínio é ligeiramente diferente. Como se sabe a potência é por norma calculada a partir de um produto entre uma tensão e uma corrente. No caso deste trabalho, teve-se em consideração a influência da interface analógica e obteve-se uma função que traduz a relação entre qualquer potência e o valor retirado do registo do dispositivo. Esta é dada por:

$$P = \frac{p \times 0,17777^2}{7,55 \times 10^{-4} \times 0,0208} = 3183,9 \times p \quad (3.22)$$

A distinção entre Potência Activa, Reactiva e Aparente é feita internamente pelo dispositivo e vem à partida ajustada na percentagem  $p$ .

Por fim, o cálculo de energia é feito com base num somatório dos valores das potências, consultadas a cada segundo ao CS5463, divididas por 3600. No fundo cada valor de potência corresponde a um intervalo de uma hora de consumo de energia, sendo necessário convertê-lo à escala de 1 segundo, para que ao fim de uma hora se obtenha a energia consumida pelo electrodoméstico a ser analisado. Este procedimento é aplicado nas componentes activa e reactiva da energia.

**Sistema de Interrupções** O CS5463 tem incorporado um sistema de interrupções muito útil à detecção de eventos. Embora não seja utilizado neste trabalho de Dissertação, foi testado e explorado. Posto este facto é feita uma documentação do seu funcionamento.

Como seria de esperar, um microcontrolador pode tirar partido desta característica e realizar procedimentos em função dos eventos despoletados. Caso se pretenda um sistema com capacidade de resposta imediata, pode ainda associar-se um sistema de interrupções do próprio microcontrolador. Por outro lado, um sistema cíclico de escuta no microcontrolador permite uma aplicação mais controlada, colocando em segundo plano o tempo de detecção das interrupções provenientes do CS5463. O sistema de interrupções do CS5463 funciona com

base em dois registos: *Mask register* e *Status register*. Embora ambos estejam associados aos mesmos parâmetros, ou seja, ambos controlam os mesmos bits das interrupções, as suas finalidades são distintas. Escrever no *Mask register* define quais as interrupções que passam a estar funcionais, sendo esta uma forma de ligar ou desligar o sistema de interrupções. Por seu turno, o *Status register* funciona como um semáforo, assinalando as interrupções despoletadas. Logicamente, apenas poderão aparecer assinalados neste registo, eventos que tenham sido autorizados previamente no *Mask register*. Cabe à aplicação do microcontrolador consultar o *Status register*, verificando quais os bits assinalados aquando do despoletar de um sinal de interrupção. Da mesma forma, a aplicação é responsável por limpar o registo referido, dado que este procedimento não ocorre automaticamente dentro do CS5463. O fabricante aconselha a utilização de um procedimento particular para lidar de forma eficiente com o sistema de interrupções.

**Inicialização das Interrupções** Este processo, tal como o nome indica, serve para configurar e inicializar o sistema de interrupções do CS5463. A execução deve decorrer da seguinte forma:

1. Limpar o *Status register* escrevendo no seu endereço o valor 0xFFFFFFFF (hexadecimal);
2. configurar o *Mask register* enviando o valor correcto à activação dos bits desejados. Cada bit corresponde a uma interrupção;
3. Ligar o sistema de interrupções do microcontrolador.

**Rotina de Serviço à interrupção** Um dos pontos mais importantes de qualquer sistema de interrupções é a criação de uma rotina responsável pela sua gerência. No caso do CS5463, esta deve consultar os registos de forma a determinar quais as interrupções que despoletaram o aviso e ramificar para a(s) sub-rotina(s) adequadas. Da mesma forma, deve limpar o registo das interrupções já exploradas. O procedimento é o seguinte:

1. Efectuar a leitura do *Status register*;
2. Desligar as interrupções do microcontrolador;
3. Ramificar para as subrotinas correctas, correspondentes aos bits activos, lidos do *Status register*;
4. Efectuar a limpeza do *Status register* no que aos *bits* anteriormente assinalados diz respeito. Para o fazer basta devolver ao registo referido o valor lido;
5. Reactivar as interrupções;
6. Sair da rotina de serviço à interrupção.

### 3.3.1.2 Envio de dados ao servidor Web

O microcontrolador do Módulo 3 envia através da sua porta série assíncrona uma *string* com a informação relativa às medições. O dispositivo *NanoSocket iWiFi* recebe esta informação e reencaminha-a para um servidor remoto. Todos os procedimentos relacionados com o TCP/IP são realizados internamente neste dispositivo. As definições utilizadas para configuração do módulo USART são descritas na Tabela 3.13.

Parâmetro	Valor
Bitrate	9600bps
Num. Bits	8
Paridade	Não
Stop Bits	1

Tabela 3.13: Parâmetros de configuração do módulo USART do PIC18F4685.

### 3.3.2 Comunicação com o dispositivo GSM

De forma a conseguir-se a interacção com o *modem* GSM criou-se uma aplicação para o microcontrolador PIC18F458. Esta aplicação configura o *modem* GSM<sup>4</sup>, interpreta os alertas deste mesmo dispositivo e requisita os SMS armazenados, os quais interpreta também. Consoante a interpretação efectuada, selecciona um pacote de energia e alerta o microcontrolador do Módulo 3 para a necessidade de iniciar uma comunicação síncrona. A informação do pacote será transmitida a este último.

#### 3.3.2.1 Estrutura da Aplicação

O planeamento de uma aplicação é um passo fundamental na sua criação. Na Figura A.2 é ilustrado o diagrama de fluxo correspondente à aplicação criada para controlo da Wavecom por parte do microcontrolador PIC18F458.

#### 3.3.2.2 Sistema de Mensagens da Wavecom

Para se estabelecer a comunicação com o dispositivo, é necessário ter em conta o tipo de mensagens que este espera, ou seja, as sequências de caracteres a enviar à Wavecom para despoletar as suas acções. Da mesma forma, há que saber o que esperar das suas respostas. Felizmente, existem padrões criados com o objectivo de uniformizar a comunicação entre dispositivos, entre os quais se destacam os padrões AT. Cada classe de dispositivo tem a sua implementação de comandos AT, e estes são sempre idênticos entre dispositivos da mesma classe. A título de exemplo, no caso específico dos chips GSM, quer tenha sido produzido pela Nokia, pela Siemens ou pela samsung, o tipo de comandos AT que aceitam é semelhante. Para a consulta do estado do PIN no cartão SIM a sequência é exactamente a mesma em todos os chips GSM e vem na forma “AT+CPIN?”. Existem, contudo, alguns fabricantes

---

<sup>4</sup>A partir deste ponto, de forma a promover a coerência, o modem GSM passará a ser conhecido por Wavecom.



que adoptam sistemas proprietários de comunicação com vista a impedir o acesso dos seus dispositivos a terceiros. [Hayes, 2006]

O dispositivo com o qual se pretende comunicar (Wavecom) já traz consigo um sistema de mensagens padrão baseado em comandos AT. Assim sendo, qualquer acção que se pretenda do dispositivo tem que ser chamada através deste sistema. Na prática funciona como uma chamada de atenção (AT = Attention!), se bem que o verdadeiro propósito destes dois caracteres é auxiliar o ajuste do modem GSM às configurações da porta de comunicações do PC. Na realidade, o *modem* precisa de dois caracteres para o fazer, de forma a detectar a taxa de transferência adequada, equivalente à definida no PC. Existem, contudo, algumas excepções que derivam do encadeamento de mensagens e que não precisam de “AT” antes do comando concreto. Tal deve-se ao facto de o *modem* já ter presentes as definições que tinham sido calculadas aquando da chegada da chamada de atenção que iniciou o encadeamento. Assim que terminar a sequência de mensagens encadeadas, o modem desliga-se e terá que detectar de novo os parâmetros da comunicação à chegada da próxima chamada de atenção. [Hayes, 2006]

As mensagens que se enviam à Wavecom devem ir terminadas pelo carácter 13 da tabela ASCII, o qual é conhecido por “Carriage Return <CR>”, que na linguagem C é representado por “\r” e em Visual Basic por “vbCr” . Embora possa parecer lógico acrescentar o carácter 10 (Line Feed <LF>, em C representado por “\n” e em Visual Basic por “vbLf”) no fim da mensagem, na realidade este carácter confunde o dispositivo, chegando à aplicação as respostas erróneas e carregadas de caracteres lixo. Por seu turno, as respostas que a Wavecom envia vêm sempre com uma sintaxe típica. Esta caracteriza-se por um eco<sup>5</sup> do comando AT que lhe foi enviado, seguido da resposta em si, rodeada de sequências de <CR><LF>. Segue-se um exemplo apresentado na Figura 3.23.

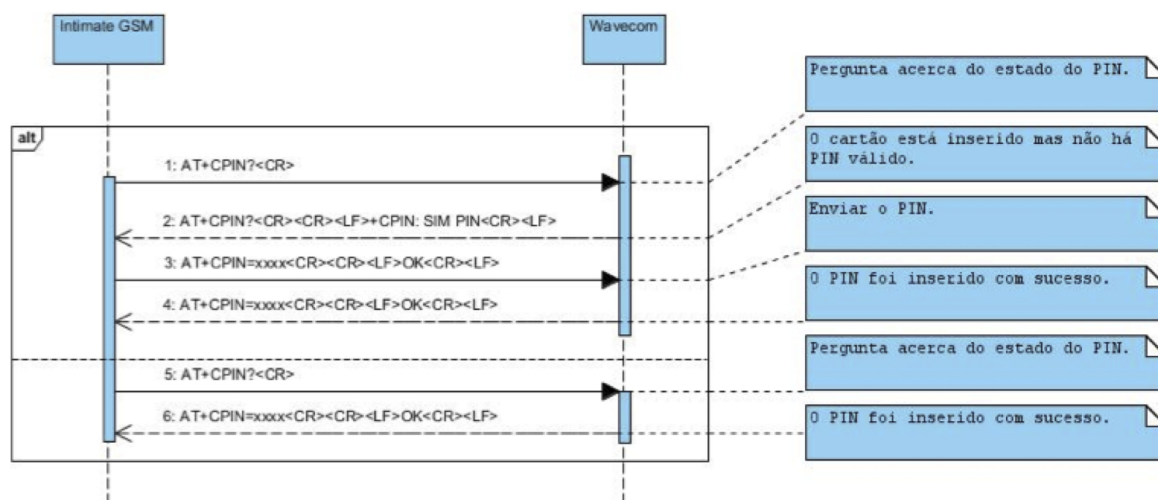


Figura 3.23: Diagrama UML de sequência representativo da troca de mensagens entre a aplicação VB e a Wavecom, aquando da configuração inicial.

<sup>5</sup>Neste contexto, “eco” traduz-se na devolução por parte da Wavecom, de uma mensagem que lhe foi enviada.

Este é o padrão de uma parte significativa das mensagens. Contudo, existem excepções. Um exemplo comum situa-se no envio das mensagens SMS. Quando se envia à Wavecom o comando a requisitar o envio de um SMS, esta devolve como resposta um carácter isolado. Além do mais, o terminador da próxima *string* que lhe será enviada deverá ser o carácter 26 da tabela ASCII, também conhecido por <SUB> ou obtido pela sequência de teclado <CTRL+Z>. Repare-se também que não existe eco nesta ocasião particular. O motivo desta diferença prende-se com o facto de ser uma comunicação intermédia, ou seja entre o comando AT inicial e a resposta final que vem na forma comum descrita acima. Na Figura 3.24, o exemplo da troca de mensagens durante o processo de envio de um SMS.

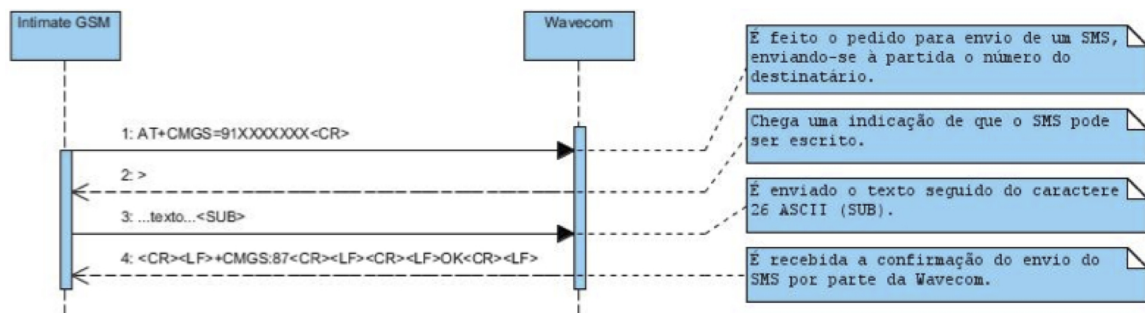


Figura 3.24: Diagrama UML de Sequência referente ao processo de envio de um SMS. Repare-se a ausência de comandos AT no intermédio do processo troca de mensagens entre a aplicação e a Wavecom.

Para concluir esta explicação, fica em anexo (Figura A.3), a representação do sistema de troca de mensagens efectuado durante a execução do programa, através de um diagrama UML de sequência. Para uma consulta de comandos adicionais não apresentados no diagrama referido, é aconselhada a leitura do manual da Wavecom ([Wavecom AT, 2004]).

### 3.3.3 Servidor Web Visual Basic

De forma a conseguir-se o armazenamento de dados correspondentes às medições que provêm do Módulo 3, foi necessário criar um servidor baseado na linguagem Visual Basic .Net, o qual fica à escuta, interpreta e decompõe as mensagens vindas do Módulo 3. De seguida calcula o intervalo horário correcto para escrever toda a informação relacionada com a energia no local apropriado de uma base de dados *MySQL*. Esta é explicada na Secção 3.3.4. Este servidor não tem interface de utilizador a apresentar.

### 3.3.4 Gestor de Base de Dados *MySQL*

Armazenar os valores das Medições numa base de dados *online* é fundamental, pois permite a organização correcta dos conteúdos e a consulta dos mesmos por parte de diversas aplicações, mesmo remotamente.

Posto este facto, foram construídas algumas tabelas em *MySQL*, um sistema relacional de gestão de bases de dados sustentado por um servidor, o *MySQL Server*, incluído no pacote XAMPP<sup>6</sup> [MySQL, 2010]. Para a construção das tabelas utilizou-se a aplicação Query Browser, a qual permite gerir, editar e consultar as mesmas. A Figura 3.25 mostra uma janela de edição típica desta aplicação.

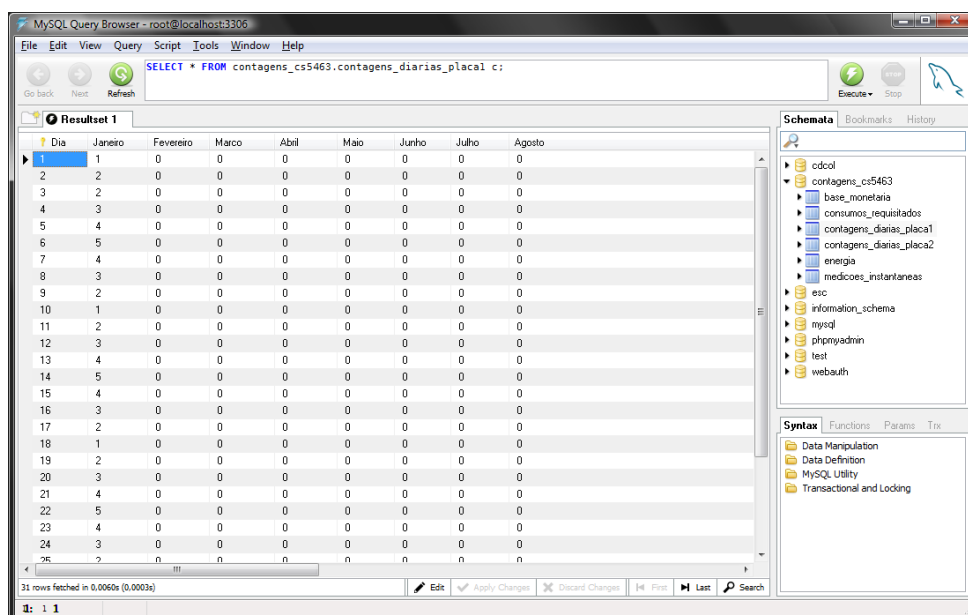


Figura 3.25: Uma imagem de ecrã que ilustra a interface do *Query Browser*.

### 3.3.5 Página Web para consulta de dados

Para permitir o acesso à informação por parte do utilizador desenhou-se uma página web cujo conteúdo se baseia em gráficos estatísticos. Definiu-se como objectivo a possibilidade de visualização desta página em qualquer navegador, seja num computador ou num dispositivo móvel, como por exemplo um telemóvel inteligente. Para tal é fundamental a utilização de padrões da *Web*, como os definidos pela W3C no que o HTML5 diz respeito.

Elaborou-se uma página que expõe os consumos em base horária num gráfico de barras e apresenta um medidor que indica a quantidade de energia requisitada através de SMS e a energia remanescente.

Os gráficos foram elaborados usando uma ferramenta gratuita: o *RGraph*. Trata-se de uma biblioteca de funções e configurações que utiliza a tecnologia *Canvas* para gerar permutações

<sup>6</sup>O XAMPP pode ser descarregado livremente internet em “[www.apachefriends.org/en/xampp.html](http://www.apachefriends.org/en/xampp.html)”.

de cor e Javascript para criar algumas funcionalidades interactivas [RGraph, 2010]. O *Canvas* é precisamente um dos elementos do HTML5.

Para fazer chegar os valores da base de dados MySQL aos gráficos, utilizou-se a linguagem PHP. Trata-se de uma linguagem que funciona do lado do servidor. Na prática o PHP é traduzido para conteúdo HTML, antes de o navegador abrir a página [PHP, 2010]. No caso do trabalho desta dissertação, é um processador de PHP integrado no pacote XAMPP que realiza esta tarefa.

A Figura 3.26 ilustra a página criada.

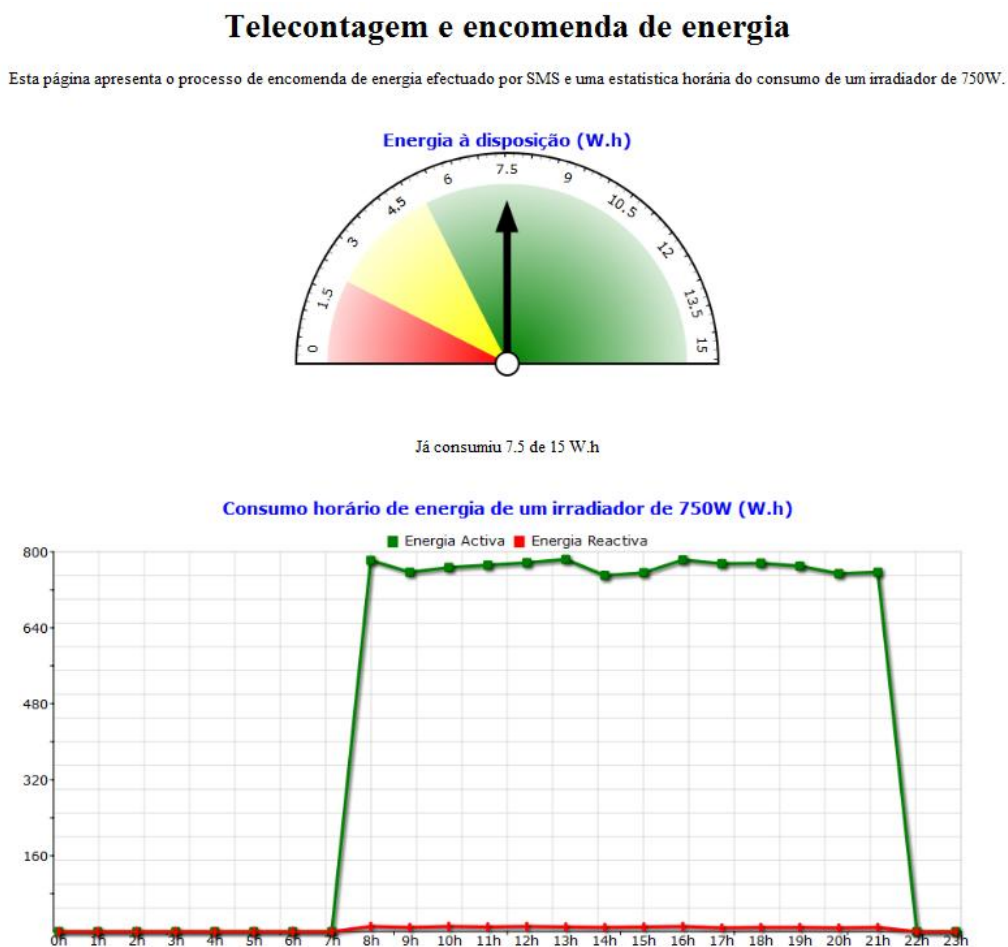


Figura 3.26: Página *Web* criada, com elementos gráficos *Canvas*.

## Capítulo 4

# Discussão

Neste capítulo é feita uma análise cuidada aos pontos fundamentais do trabalho, que intersectam os objectivos enumerados na Secção 3.1.

### 4.0.5.1 A utilização do GSM

A função que foi implementada com o sistema de SMS, ou seja a encomenda de pacotes de energia, integra-se bem com o resto do sistema, transmitindo a sensação de ser natural realizar um pedido de uma quantidade de energia a partir do telemóvel. Contudo esta arquitectura de *hardware* e *software* permite a adição de funcionalidades que não estão presentes, dada falta de tempo para alargar o espectro já ambicioso do trabalho. A interacção entre o microcontrolador do módulo quatro e modem GSM (Wavecom) é um pouco lenta, dada a necessidade de troca de várias mensagens entre ambos os dispositivos para operações tão simples como a requisição de um SMS armazenado no modem. Só nesta operação o microcontrolador executa três trocas de mensagens, intervaladas por espaços de tempo ajustados ao *modem*, na ordem de 1,5 segundos cada um.

### 4.0.5.2 A interface Web

A página *Web* criada é possível de ser aberta nos navegadores dos telefones inteligentes, com sistemas operativos *Google Android 1.5* e *Apple iOS 4.1*. Esta aparece bem renderizada e nela aparecem representados os gráficos com bons níveis de legibilidade. As funções introduzidas nos gráficos que usam parâmetros do *Canvas* funcionam correctamente. As indicações que aparecem aquando de um toque nos pontos do gráfico de linha, são renderizadas de acordo com o esperado, apresentando fidelidade às formas, cores e funcionalidades originais. Resultam em todos os navegadores com suporte para *Canvas*. O único que não renderizou a página em condições foi o *Internet Explorer 8*, dado que não suporta a tecnologia *Canvas*. Além deste foram testados o *Firefox 3.6*, *Safari 4*, *Opera 10.6*, *Google Chrome 5*, todos com resultados positivos. Também se testou a versão beta do *Internet Explorer 9* e este renderizou correctamente a página. Os gráficos demonstram ser uma boa forma de visualização imediata dos consumos de energia. As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram as renderizações.

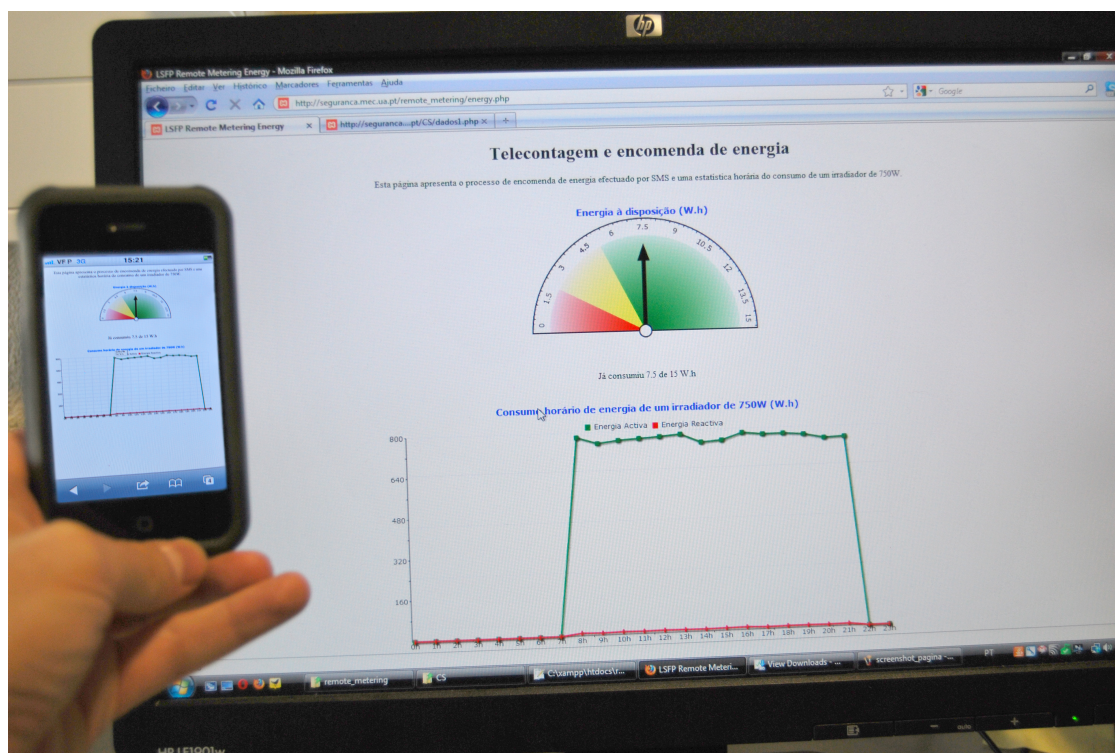
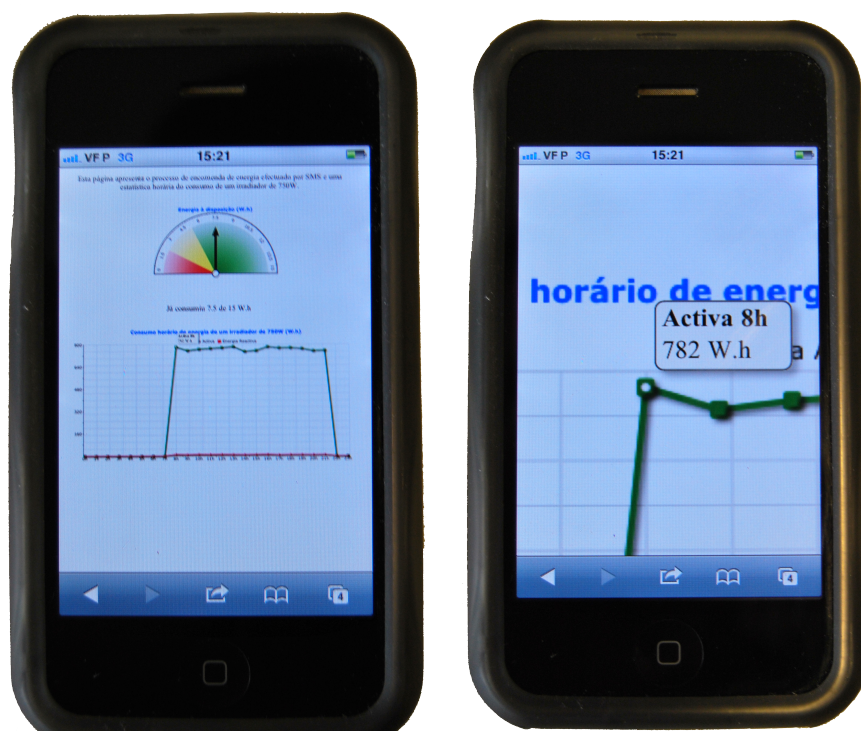


Figura 4.1: Renderizações da página Web no Safari, em iOS 4.2 e no navegador Firefox 3.6, em Windows Vista.





(a) Renderização da página em iOS 4.2. (b) Pormenor de funcionalidade *Canvas*.

Figura 4.2: Funcionamento da página num telefone inteligente.

#### 4.0.5.3 O sistema de medições

O conjunto das medições efectuadas pelo dispositivo são, na generalidade, pouco consistentes, sendo claramente afectadas por ruídos que circulam nas placas brancas de prototipagem. A proveniência destes ruídos não é totalmente reconhecida, mas consegue-se identificar com o auxílio do osciloscópio uma das origens: o cristal oscilador que gera uma frequência de 4 MHz essencial ao funcionamento do CS5463 e do microcontrolador do Módulo 3. Os parâmetros mais afectados pelo ruído são o factor de potência e a potência reactiva. A interface analógica funciona de acordo com esperado, distribuindo para os canais de corrente e tensão do CS5463 valores dentro da escala aceite por este último. Pese embora o facto de existir ruído tanto no canal de corrente como no de tensão. A sua origem é complexa uma vez que é identificado junto aos transdutores, o que significa que pode vir da linha ou de um dos cabos colocados na placa de prototipagem. Também o facto de a montagem se situar numa sala saturada de redes baseadas em rádio-frequência poderá justificar a propagação de ruído na placa branca. Uma vez mais esta conclusão foi tirada graças a ensaios realizados com o osciloscópio. A Figura 4.3 ilustra o ruído introduzido no sistema.

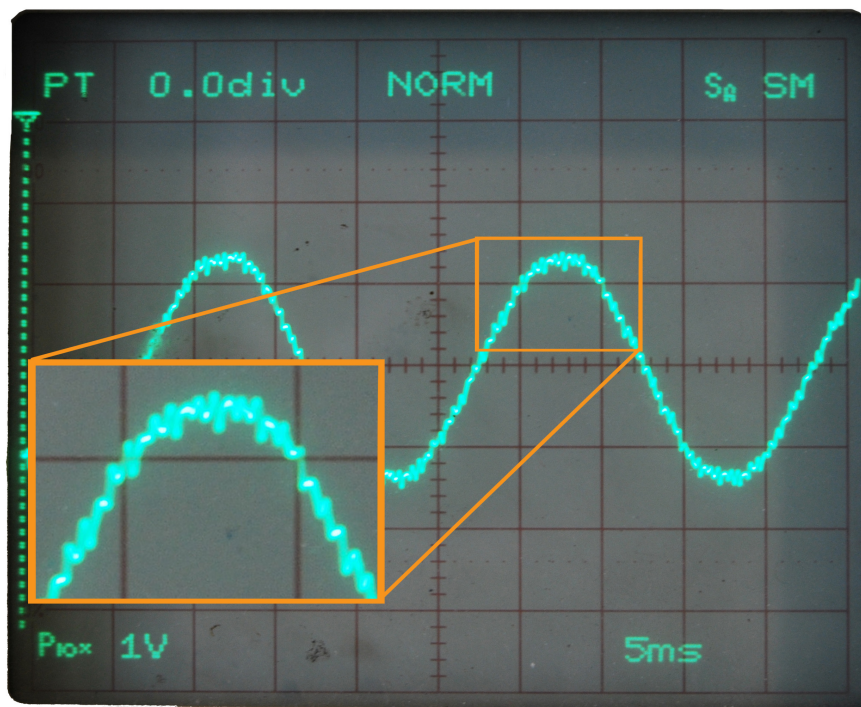


Figura 4.3: Ruído no sinal que segue para o canal de corrente I+ do CS5463. O seu valor anda perto dos 8mV pico.

Na página *Web* é possível visualizar algumas medições feitas pelo CS5463, relacionadas com o consumo de um termoventilador de 750W. Em laboratório averiguou-se que os valores de energia activa oscilam entre os 751,7W.h e os 783,4W.h, o que representa um intervalo de valores bastante aceitável, dado o ruído que persiste no circuito. Os valores de energia reactiva oscilavam entre os 5,3W.h e os 11,6W.h, com um factor de potência na ordem dos 0,97.



## Capítulo 5

# Conclusão

Findo o trabalho de dissertação é possível concluir que o objectivo de criar um sistema de telecontagem com encomenda de energia foi atingido com sucesso no que ao *hardware* e *software* diz respeito. Contudo, as medições do dispositivo não atingiram a precisão esperada, tendo sido significativamente afectadas pela presença de ruídos que circulam nas placas brancas de prototipagem.

Perante uma disponibilidade maior de tempo, ter-se-ia desenvolvido uma placa PCB com vista a diminuir o ruído nos Módulos 1 e 2, tornando-os mais fiáveis. Da mesma forma ter-se-iam acrescentado mais funcionalidades ao sistema, tais como a consulta dos consumos de energia através de SMS, a encomenda de pacotes de energia através da página *Web*, entre outras.

Um ponto extremamente positivo é a versatilidade dos módulos criados. Estes podem ser conjugados com outros. A título de exemplo, a interface analógica pode ser trocada por uma mais simples e barata, mantendo-se todo o sistema funcional. Esta modularidade favorece especialmente a realização de projectos futuros, pois abre caminhos em várias direcções.

Tratando-se de um protótipo ainda com diversos pormenores a corrigir, a comparação com produtos existentes no mercado terá que ser baseada nas características de funcionalidade. Como se pode depreender do segundo capítulo deste trabalho, os dispositivos em comercialização são já bastante completos e funcionais, contudo, demasiado fechados e virados para o mundo empresarial. A única excepção a esta “regra” é o modelo TED5000.

Efectivamente é possível concluir que em comparação aos telecontadores SMART-IMS e REX2-EA, o sistema criado apresenta a vantagem de efectuar a transmissão de dados ao servidor remoto fazendo uso de qualquer ponto de acesso na área (por norma um *router WiFi*), graças à adopção do protocolo WiFi no Módulo 3. Infra-estruturas de acesso à internet sem fios são já omnipresentes. Caso se pretenda efectuar uma troca do protocolo de comunicação para ZigBee ou Bluetooth, bastará trocar o dispositivo *NanoSocket iWiFi* por um dos apresentados nas Figuras 3.13 e 3.14, respectivamente.

Em relação ao sistema TED5000 a grande mais valia do projecto desta dissertação é a capacidade de controlo de quantidades de energia que circulam numa linha através de um simples SMS. Em adição, o sistema disponibiliza valores de energia activa e reactiva, entre outros elementos como o factor de potência, numa base de dados *online*. Caso se pretenda, torna-se relativamente simples usufruir destes parâmetros numa página *Web* ou numa aplicação.

Uma das características do TED5000 é a possibilidade de consulta dos consumos efectuados num *hardware* portatátil dedicado. Actualmente, os telefones inteligentes são tão sofisticados que permitem a criação de aplicações com funcionalidades extraordinárias. São também comercializados a preços relativamente reduzidos, o que suporta a sua massificação rápida. Torna-se portanto mais lógica a criação de uma aplicação para vários sistemas operativos móveis, como o *Google Android*, *Apple iOS*, *Symbian* e *Windows Phone 7*. Faz parte do quotidiano a utilização de um telefone inteligente para quase tudo, logo haverá sempre espaço para efectuar a consulta aos consumos.

A título de curiosidade, entretanto surgiram no mercado dispositivos que já integram unidades de processamento e que apenas requerem pequenas calibrações, facilitando imenso o desenvolvimento de aplicações. Um exemplo desta arquitectura é o SoC<sup>1</sup> 71M6511 da Tiridian<sup>®</sup>. Uma alternativa viável a este último seria certamente o PIC18F87J72 da Microchip<sup>®</sup>, um microcontrolador que traz integrado um analisador de energia, facilitando desta forma o desenvolvimento e a integração em sistemas já existentes. Isto ajudaria uma vez mais na eliminação de ruído, além de baixar o custo do sistema e ajudar na poupança de espaço numa placa PCB. Caso existisse inicialmente a escolha, teria sido adoptado o microcontrolador PIC18F87J72 dadas as vantagens apresentadas.

Como nota final, o balanço dos conhecimentos adquiridos durante este trabalho de dissertação é extremamente positivo. Abordaram-se algumas áreas novas, como a electrónica de potência, o HTML5 e JavaScript, todos conteúdos não leccionados durante a formação académica do MIEM<sup>2</sup>. Outras áreas foram reforçadas, como a programação de microcontroladores, a criação e manipulação de bases de dados *MySQL* utilizando Visual Basic e PHP, ou mesmo a electrónica básica relacionada com corrente contínua e alternada.

As maiores dificuldades surgiram no estudo de funcionamento do dispositivo analógico CS5463, assim como na criação da sua interface analógica, baseada em electrónica de potência. Um desafio constante foi a necessidade de integração e coordenação dos diversos módulos criados, tendo sido necessária a aplicação e estudo de uma variedade de protocolos de comunicação distintos.

Permanece, um elevado sentimento de satisfação pelo facto de se ter construído um protótipo de raiz, baseado em dispositivos de operação extremamente complexa que exigiram muitas horas de estudo, pesquisa e dedicação e cujo resultado é uma exposição elegante de informação, consideravelmente útil.

---

<sup>1</sup>SoC é a abreviatura usada para *System on a Chip*.

<sup>2</sup>Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

## Capítulo 6

# Propostas de trabalhos futuros

Perante as conclusões realizadas acerca do trabalho desenvolvido para esta dissertação, torna-se viável a sugestão de futuras implementações com base neste.

- Propõe-se a utilização dos Módulos 1, 2 e 3 para criação de uma sub-rede de dispositivos de medição que transmitam a sua informação a um dispositivo principal através de *ZigBee*, conseguindo-se desta forma uma rede de baixo custo com capacidade para sensoriar e accionar dispositivos individualmente.
- Propõe-se a criação de um sistema de domótica e gestão de energia em ambientes residenciais que integre inteligência aplicada na gestão de consumos de várias secções numa habitação. Deve permitir controlo manual e consulta de informação numa página *Web* ou numa aplicação para telefone inteligente. Este trabalho pressupõe a utilização dos Módulos 1, 2 e 3.
- Propõe-se a criação de um sistema de domótica que permita o controlo através de SMS e de uma aplicação para telefone inteligente. Este trabalho pressupõe a utilização do Módulo 4.



# Bibliografia

- [ADD GRUP, 2008] ADD GRUP - Smart IMS *[on-line]*. 2008. Disponível em <[www.add-grup.com/products/about.html](http://www.add-grup.com/products/about.html)>.
- [Advanced Telemetry, 2010] Advanced Telemetry, LLC - EcoView<sup>TM</sup>Residential *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.advancedtelemetry.com/residential.html>>.
- [APVE, 2010] APVE - Mobi-E *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.apve.pt/>>.
- [Bluetooth, 2010] Bluetooth.com, The Protocol *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.bluetooth.com/>>.
- [Britannica, 2010] BRITANNICA, Telemetry *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.britannica.com/>>.
- [Bruno Pimenta, 2007] PIMENTA, Bruno - Sistemas Inteligentes em Telecontagem. Lisboa: [s.n.], 2007. Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- [Cornell, 2010] Cornell.edu - Two's Complement *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.cs.cornell.edu/tomf/notes/cps104/twoscomp.html>>.
- [Chris Greenwood *et al.*, 2007] GREENWOOD, Chris; HOHLER, Alice; HUNT, George; LIEBREICH, Michael; SONNTAG-O'BRIEN, Virginia; USHER, Eric - Global Trends In Sustainable Energy Investment 2007. United Nations Environment Programme, 2007. ISBN: 978-92-807-2859-0.
- [CS5463 dtsht, 2010] Cirrus Logic - CS5463 datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.cirrus.com/en/applications/app/detail/APP19.html>>.
- [Decreto-Lei 312/2001] Resolução de Ministros n.o 312/2001, Diário da República N.o 284 - Série I-A, 10 de Dezembro de 2001.
- [Decreto-Lei 363/2007] Resolução de Ministros n.o 363/2007, Diário da República, N.o 211 - 1.a Série, 2 de Novembro de 2007.
- [Gomes *et al.*, 2009] GOMES, F. M.; CARRAPATOSO, A. M. - Projecto InovGrid - A evolução da rede de distribuição como resposta aos novos desafios do sector eléctrico. Efacec. 2009.
- [Elster, 2009] ELSTER SOLUTIONS - Rex2-EA *[on-line]*. 2009. Disponível em <[www.elstersolutions.com/en/rex2.html](http://www.elstersolutions.com/en/rex2.html)>.

- [E.T., 2010] E.T. - Differential Amplifier *[on-line]*. 2010. Disponível em <[http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp\\_5.html](http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html)>.
- [Evaristo Resende, 2008] RESENDE, Evaristo - Sistema de Telecontagem para Sistema de Distribuição de Água. Aveiro: [s.n.], 2008. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações.
- [Farahani, 2008] FARAHANI, Shahin - ZIGBEE WIRELESS NETWORKS and TRANSCEIVERS. Oxford: Elsevier, 2008. ISBN: 978-0-7506-8393-7.
- [Flávio Vieira, 2008] VIEIRA, Flávio Pascoal - Instrumento Microprocessado para Medição de Potência Ativa, Reativa e Fator de Potência. São Paulo: [s.n.], Dezembro de 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- [Francisco Travassos, 2008] TRAVASSOS, Francisco - Sistema Automático de Monitorização do Consumo de Energia e Temperatura de uma Estação de Radiocomunicações Móveis da Vodafone. Lisboa: [s.n.], Fevereiro de 2008. Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- [Google, 2010] GOOGLE - Google Power Meter *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.google.com/powermeter/about/user-stories.html>>.
- [Hayes, 2006] HAYES - Extended ETSI Hayes AT command parameters *[on-line]*. 2006. Disponível em <[http://www.cellular.co.za/hayesat.htm#SMS Command Set](http://www.cellular.co.za/hayesat.htm#SMS%20Command%20Set)>.
- [iChip AT+i, 2010] CONNECT ONE - AT+i command interface for iChip 2128 *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.connectone.com/>>.
- [Inescporto, 2010] INESCPORTO - Empresas desenvolvem contadores do futuro *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www2.inescporto.pt/use/noticias-eventos/nos-na-imprensa/empresas-desenvolvem-contadores-do-futuro/>>.
- [Inhabitant, 2010] Inhabitant.com - Google Power Meter *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.inhabitat.com/2009/02/10/google-debuts-powermeter-energy-monitoring-app/>>.
- [Matchport, 2010] LANTRONIX - Matchport b/g pro *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.lantronix.com>>.
- [MySQL, 2010] MYSQL.com - About MySQL *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.mysql.com/about/>>.
- [LTS15-NP dtsht, 2010] LEM - Current Transducer LTS15-NP datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.lem.com/>>.
- [Luís Damas] DAMAS, Luís - Linguagem C. 16a edição. Lisboa: FCA - Editora de Informática. 2008. ISBN: 978-972-722-156-1.

- [LV25-P dtsht, 2010] LEM - Voltage Transducer LV25-P datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.lem.com/>>.
- [MCP3909 dtsht, 2010] MICROCHIP - MCP3909 datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en520376>>.
- [NanoSocket dtsht, 2010] CONNECT ONE -Nanosocket iWiFi datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.connectone.com/>>.
- [Pedro Frade, 2009] FRADE, Pedro - Microgeração como solução reparadora da Qualidade de Energia Eléctrica. Lisboa: [s.n.], Novembro de 2009. Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- [PHP, 2010] PHP.net - What is PHP *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.php.net/>>.
- [PIC18F4685 dtsht, 2010] MICROCHIP - PIC18F4685 datasheet *[online]*. 2010. Disponível em <<http://www.microchip.com/pic18f4685/>>.
- [Portal-energia, 2010] PORTAL-ENERGIA, Projectos de energia em Portugal *[on-line]*. 2008. Disponível em <<http://www.portal-energia.com/>>.
- [Renato Silva, 2007] SILVA, Renato A. - Programando Microcontroladores Pic em C. 2a edição. So Paulo: Ensino Profissional Editora. 2007. ISBN: 859982304-3.
- [RGraph, 2010] RGRAPH, Canvas Graphs *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.rgraph.net/>>.
- [TED, 2010] ENERGY, Inc - The Energy Detective *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.theenergydetective.com>>.
- [Vitor Souza, 2007] SOUZA, Vítor Amadeu - Projectando com os microcontroladores da família PIC18. So Paulo: Ensino Profissional Editora. 2007. ISBN: 978-85-99823-07-8.
- [W3C, 2010] W3SCHOOLS - PHP, HTML5 *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.w3schools.com/>>.
- [Wavecom AT, 2004] WAVECOM - AT Commands Interface *[on-line]*. 2004. Disponível em <<http://www.coster.info/costerit/teleges/doc/gsm822w.pdf>>.
- [WiFi, 2010] WIFI CORPORATION - WiFi Protocol *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://www.wi-fi.org/>>.
- [Wikienergia, 2010] WIKIENERGIA - Tecnologia portuguesa de contadores digitais exportada para a Venezuela *[on-line]*. 2010. Disponível em <<http://wikienergia.com>>.
- [Wikipedia, 2010] WIKIPEDIA - Hall Effect *[on-line]*. 2010. Disponível em <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hall\\_effect\\_A.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hall_effect_A.png)>.





# Apêndice A

## Diagramas



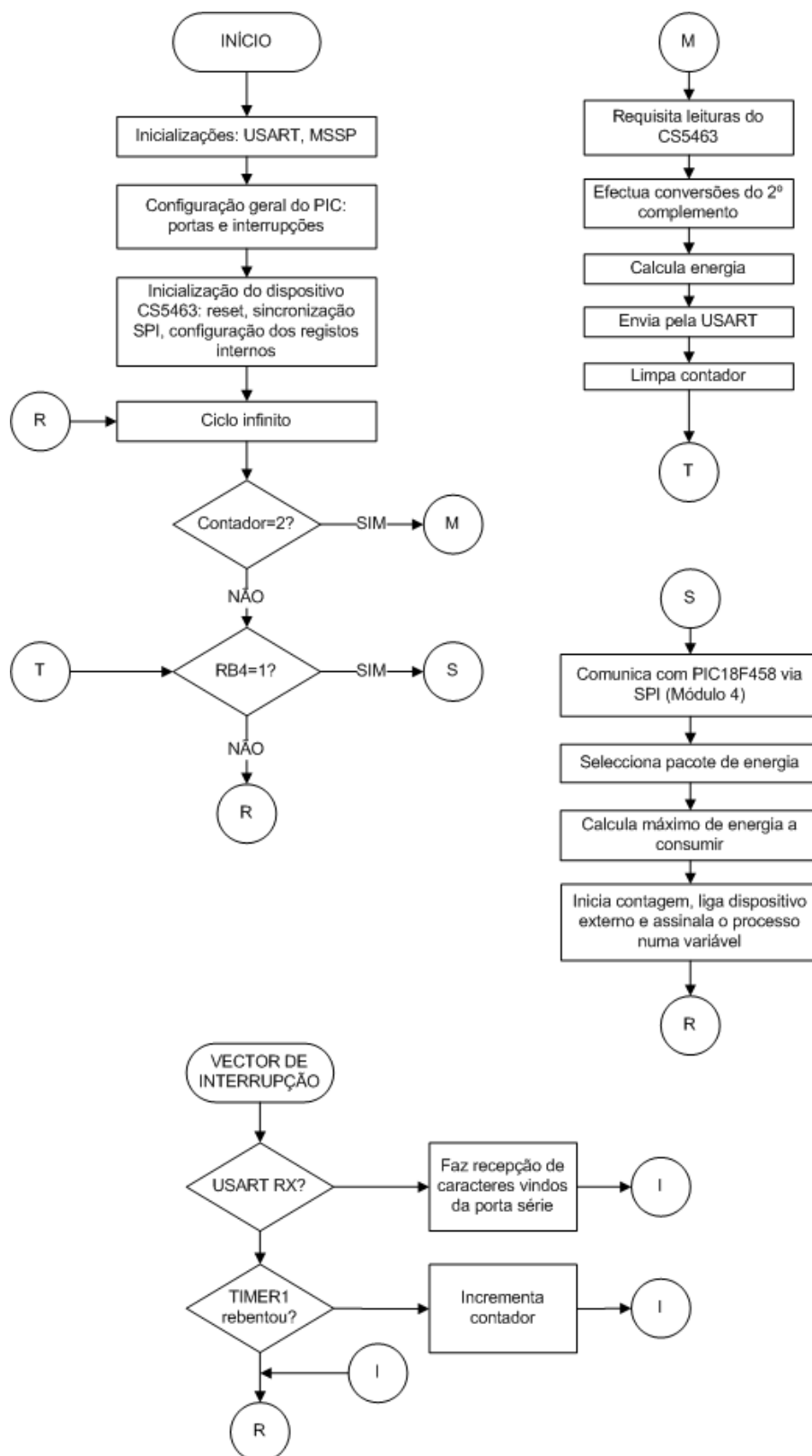


Figura A.1: Diagrama de Fluxo da aplicação criada para o PIC18F4685 do Módulo 3.



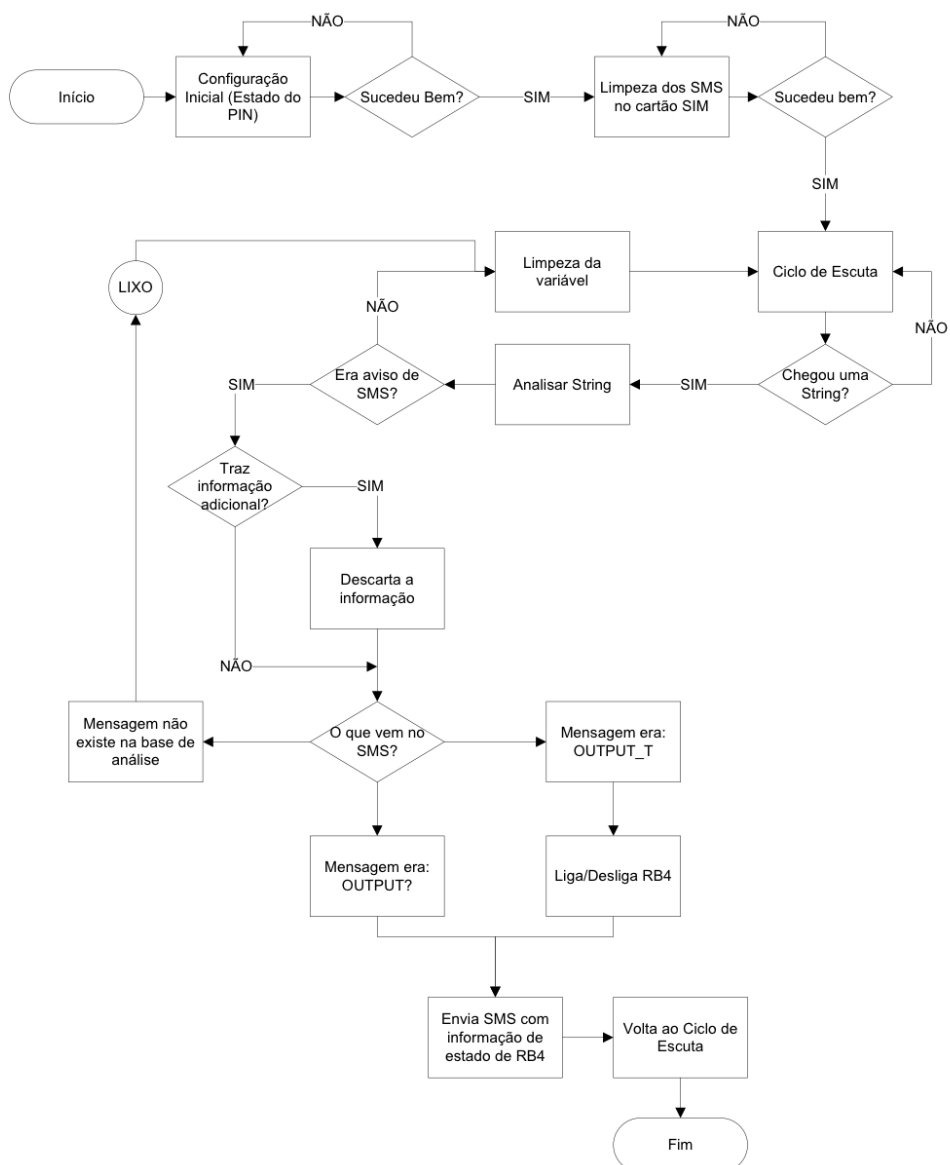


Figura A.2: Diagrama de Fluxo referente aplicação criada para interação entre o microcontrolador PIC18F458 e a Wavecom Wismo QUIK Q2400.



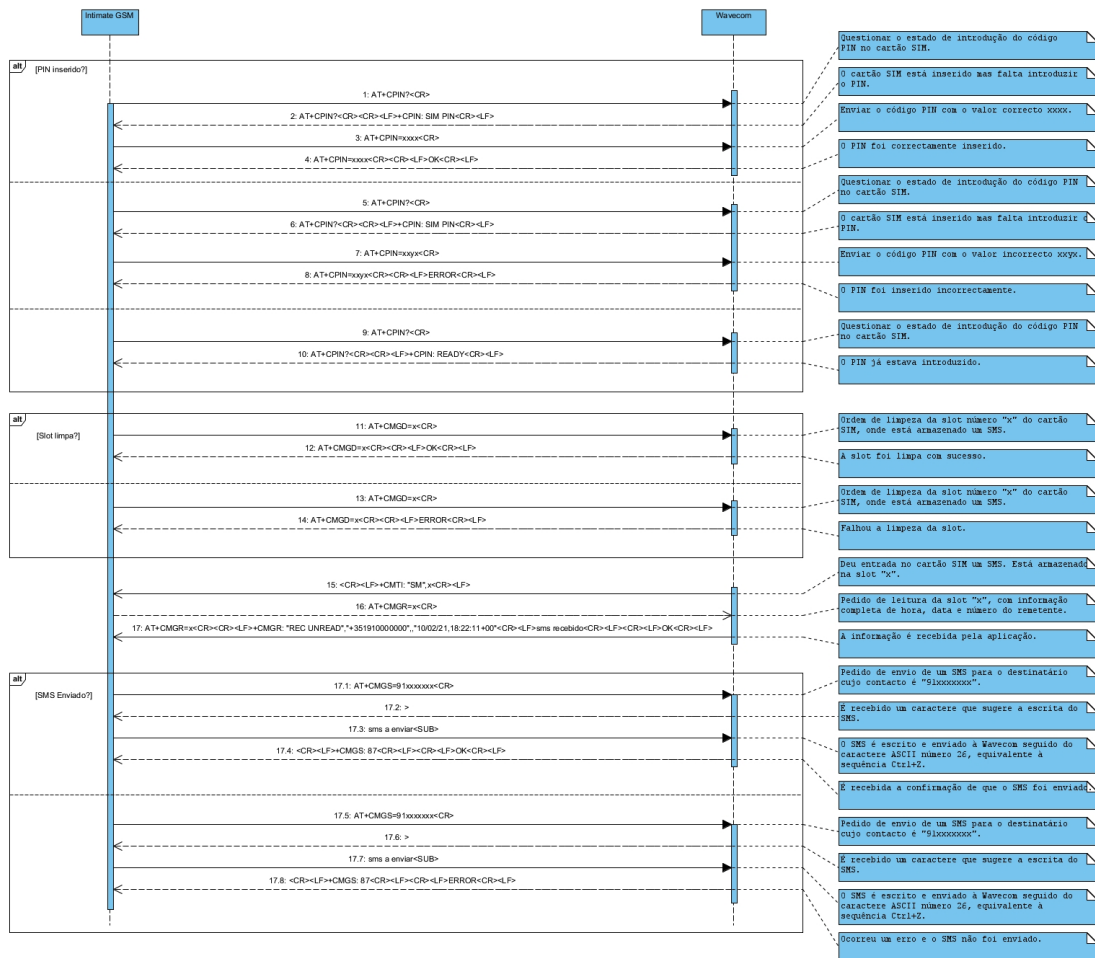


Figura A.3: Diagrama UML de sequência relativo à troca de mensagens entre o microcontrolador PIC18F458 e a Wavecom.





## Apêndice B

# Circuitos







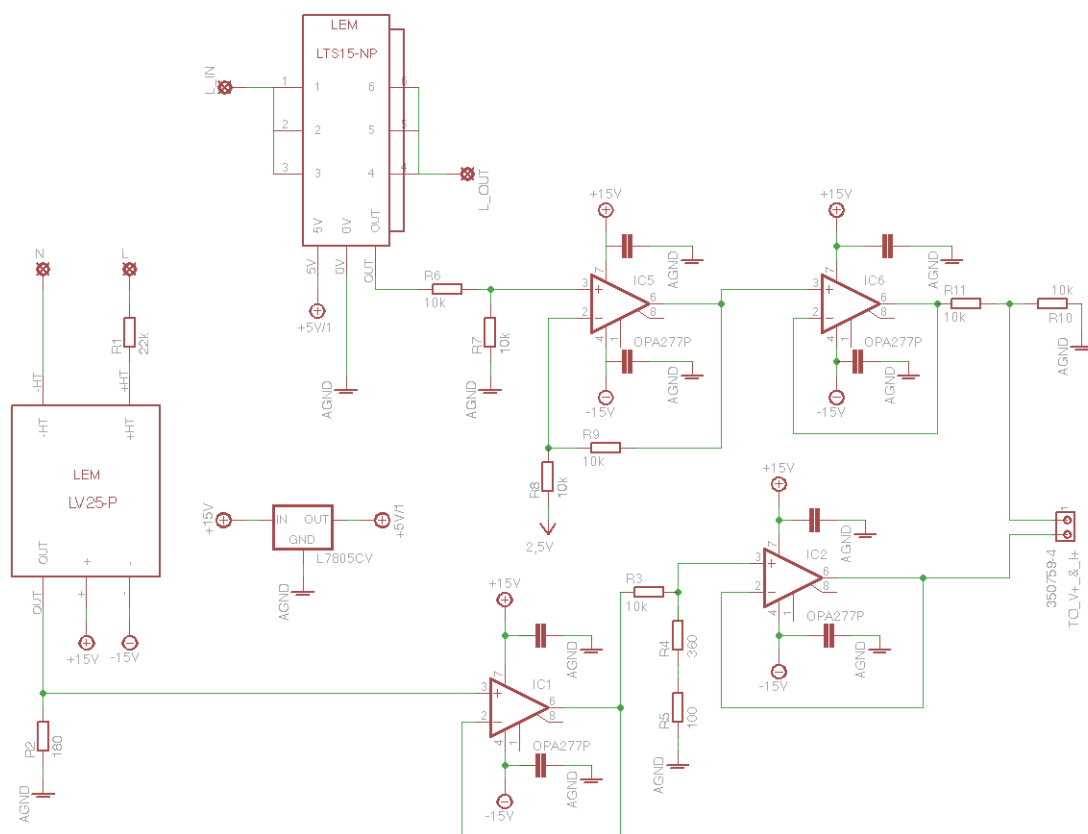


Figura B.2: Circuito representativo do Módulo 2.



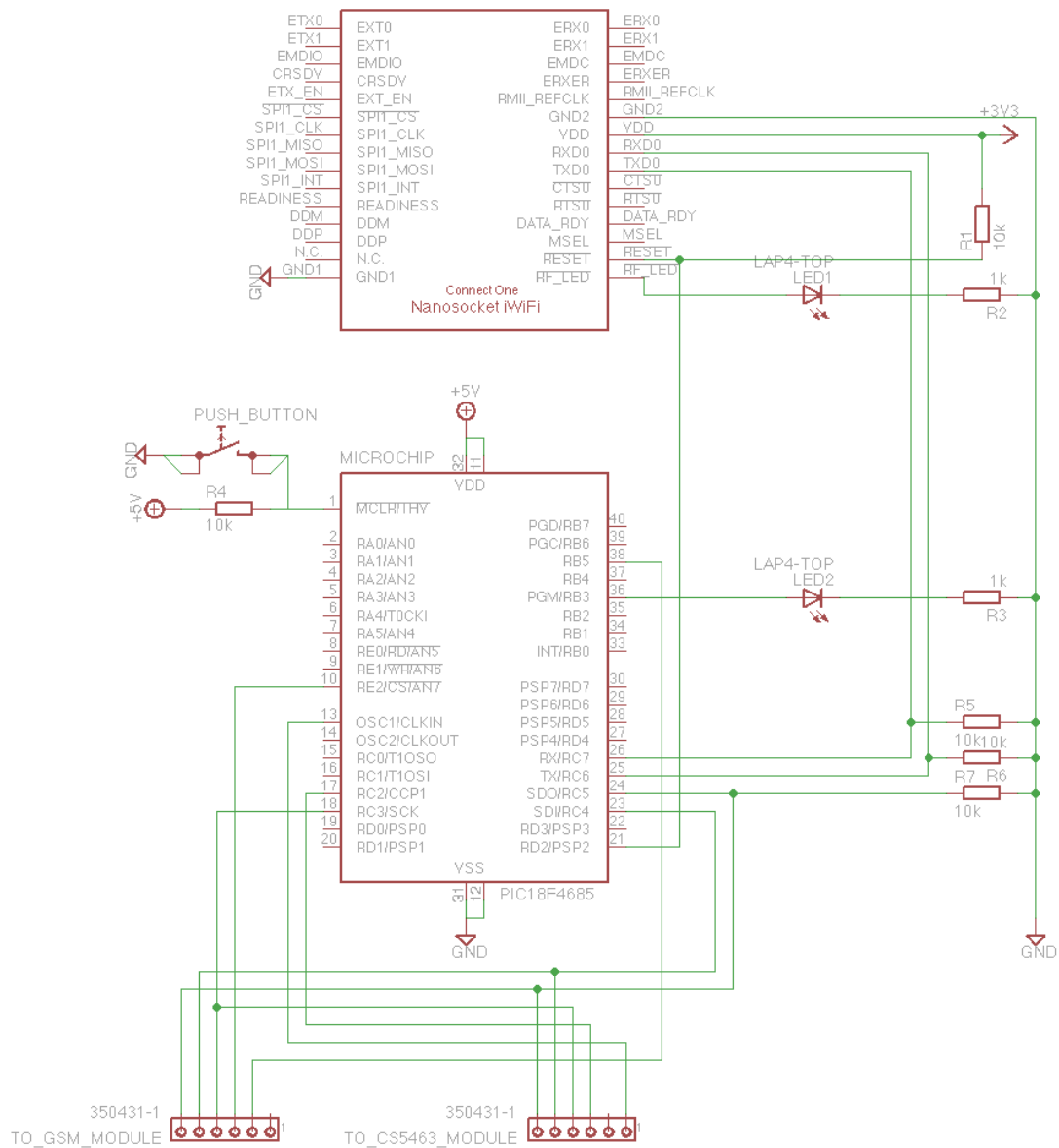


Figura B.3: Circuito representativo do Módulo 3.









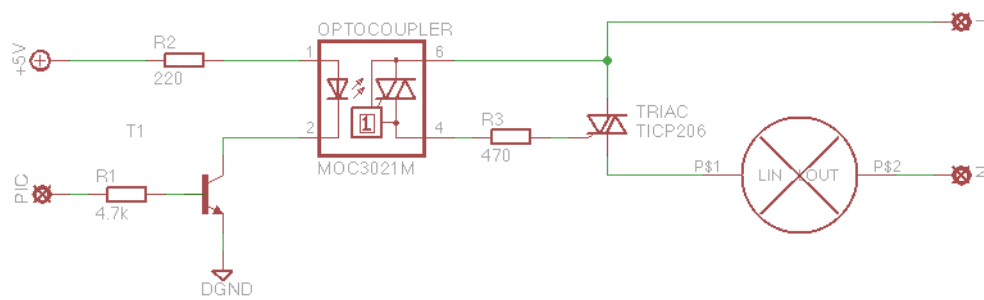


Figura B.5: Circuito representativo do Módulo 5.

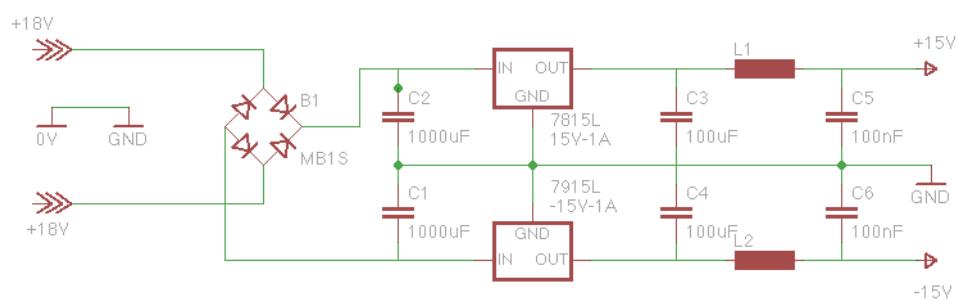


Figura B.6: Circuito da fonte de alimentação criada.

